

ISSN 0032-874X

# 1 ПРИРОДА

1982



# ПРИРОДА

Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ  
Заместитель главного редактора  
кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ  
Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ  
Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ  
Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО  
Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО  
Член-корреспондент АН СССР  
В. А. ГОВЫРИН  
Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ  
Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН  
Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ  
Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ  
Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА  
Академик  
Б. М. КЕДРОВ  
Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ  
Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР  
Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ  
Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРИКОВ  
Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ  
Доктор экономических наук  
В. А. МЕДВЕДЕВ  
Светотехнический секретарь  
В. М. ПОЛДНИЧ  
Доктор исторических наук  
П. И. ПУШКОВ  
Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ  
Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ  
Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ  
Академик  
В. Е. СОКОЛОВ  
Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ  
Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ  
Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Л. П. ФЕОКТИСТОВ  
Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН  
Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН  
Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК  
Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ  
Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

На первой странице обложки. Водопад в Закатальском заповеднике, основанном в 1929 г. на территории Азербайджанской ССР. См. в номере: Союз ССР и охрана природы. 1919—1929.

Фото Ю. П. Язана.

На четвертой странице обложки. Следы ветровой эрозии на о-ве Фулмар в Антарктиде. См. в номере: Цигельницкий И. И. Стоковые ветры Антарктиды.

Фото С. Н. Рыбакова.

**В НОМЕРЕ**

К 60-ЛЕТИЮ СССР	Союз ССР и охрана природы. 1919—1927	2
	<b>Петровская Н. В., Рехарский В. И.</b> Проблема источников рудного вещества	10
	<b>Гиляров А. М.</b> Отношения «хищник — жертва» в зоопланктонном сообществе	21
	<b>Цигельницкий И. И.</b> Стоковые ветры Антарктиды	28
	<b>Сидорова Е. В.</b> Гены иммуноглобулинов	34
	 <b>Аваков Г. С.</b> Естественное восстановление лесов в окрестностях Тбилиси	43
	<b>Эрдели И.</b> Исчезнувшие народы. Авары	50
	<b>Блюх П. В., Минаков А. А.</b> Гравитационные линзы	59
	<b>Арутюнян Н. Х.</b> Ползучесть неоднородно-стареющих тел Из «Природы» 1912 года	70 80
	<b>Добротин Н. А.</b> Частицы космических лучей высоких и сверхвысоких энергий	81
	<b>Немировская И. А.</b> Смоляные комки в море и на шельфе	88
	<b>Здорик Т. Б. И. В. Гете</b> — геолог и минералог	92
	<b>Сузюмов А. Е.</b> Бурение на плато Роколл (81-й рейс «Гломара Челленджера»)	102
НОВОСТИ НАУКИ		104
КНИГИ, ЖУРНАЛЫ	<b>Дмитревский Ю. Д.</b> Старые и новые задачи географии (120). <b>Сурдин В. Г.</b> Астрономия и ГАИШ (121)	
НОВЫЕ КНИГИ		124
В КОНЦЕ НОМЕРА	<b>Скобелев С. Ф., Флоренский П. В.</b> Явление $\Psi$ -резонанса при дешифрировании космических снимков. Шуточное резюме одного совещания	127

## Союз ССР и охрана природы 1919—1927

В условиях научно-технического прогресса охрана природы стала одной из крупнейших социально-экономических проблем, в решении которой заинтересовано все человечество.

В нашей стране этому делу постоянно уделяется большое внимание. В «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС, ставится задача дальнейшего повышения эффективности мероприятий в области охраны природы, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов<sup>1</sup>.

К научно обоснованному использованию природных богатств Советское государство приступило с первых лет своего существования. Уже в первых ленинских природоохранных декретах проходит мысль о неразрывной связи охраны природы с наукой и научно-техническими задачами, о необходимости введения новых правовых основ природопользования.

В соответствии с указанием В. И. Ленина организация охраны природы и заповедного

дела была возложена на Народный комиссариат просвещения РСФСР как орган, ведающий научными учреждениями и не имеющий непосредственного отношения к эксплуатации природных богатств<sup>2</sup>. В Центральном государственном архиве (ЦГА) РСФСР хранятся документы, в которых отражена эта деятельность до образования Союза ССР и в первые годы после образования Союза. Из этих документов, которые мы печатаем с небольшими сокращениями, видна роль многонациональных связей и помощь, оказанная центральными органами власти союзным и автономным республикам в деле охраны природы.

Документы публикуются впервые. Публикация и примечания заведующего отделом информации и научного использования документов ЦГА РСФСР В. М. Хрусталева.

<sup>1</sup> Материалы XXVI съезда КПСС. М., 1981, с. 143.

<sup>2</sup> См.: У истоков ленинских природоохранных декретов.— Природа, 1980, № 4, с. 18.

### Приказ Симферопольского уездного комиссара об охране животного мира Крымского заповедника

17 апреля 1919 г.

Озабочиваясь должной охраной населяющих леса Крыма благородных животных: зубров, оленей, коз и муфлонов в районе Крымского народного государственного заповедника<sup>1</sup>, каковая охраны должна составлять особую заботу революционного народа и Советского Правительства, п р и к а з ы в а ю:

1. Так как все животные, населяющие район Народного государственного заповедника, а именно: лесничества Бешуйское,

Симферопольское, Алуштинское и Бахчисарайское, являются народным достоянием, всякая охота в видах сохранения этих редких и важных для науки и богатства края животных в этих лесах отныне строго запрещается.

2. Отныне дело охраны находится под руководством Центрального Комитета Совета рабочих, красноармейских и крестьянских депутатов и Военно-Революционного Комитета гор. Симферополя в руках администрации народного заповедника и у

представителей Профессионального Союза лесоводов и лесотехников-лесничих и всей лесной администрации.

3. Лесничим, лесной страже и милиции иметь энергичное наблюдение за охраной животных и недопущение никакой охоты, и в случаях нарушения сего приказа составлять надлежащие протоколы, которые препровождать в Симферопольский уездный комиссариат.

4. Всем волостным и сельским комитетам предписывается: разъяснять всем своим гражданам о полном запрещении Советской властью охоты в Крымском народном заповеднике.

5. Виновные в неисполнении сего приказа подлежат суду Революционного Трибунала под угрозой штрафа до 3000 рублей и тюремного заключения до 6 месяцев.

За военного комиссара Петров.  
Секретарь<sup>2</sup>

ЦГА РСФСР, ф. 358, оп. 2, д. 433, лл. 14—14 об.

<sup>1</sup> В 1917 г. по инициативе Крымского общества испытателей и любителей природы территории бывшего «Заказника императорских охот» была объявлена национальным заповедником. В начале 1918 г. постановлением Советской власти здесь была учреждена биологическая станция. Многие намеченные меры по охране природы и организации заповедных территорий ввиду сложной военно-политической обстановки в Крыму тех лет оставались невыполненными. Лишь после принятия 30 июля 1923 г. постановления Совнаркома РСФСР «О Крымском государственном заповеднике и лесной биологической станции» в нем развернулись планомерные научно-исследовательские работы. Ныне в Крымском государственном заповедно-охотничьем хозяйстве, организованном на базе прежнего заповедника в 1957 г., насчитывается около 1100 видов растений, в том числе около 10 видов деревьев и кустарников. 90 видов растений произрастает только на этой территории. Здесь обитает 39 видов млекопитающих, 185 видов птиц, из которых 72 вида гнездятся, 10 видов рептилий и 4 вида амфибий.

<sup>2</sup> Подпись неразборчива.

### Мандат Наркомпроса РСФСР руководителю экспедиции П. К. Козлову для обследования состояния охраны памятников природы

30 августа 1921 г.

Народный комиссариат по просвещению РСФСР уполномочивает путешественника по Центральной Азии и Тибету, почетного члена Русского Географического Общества Петра Кузьмича Козлова отправиться во главе экспедиции Отдела охраны памятников природы для осмотра заповедников юга России и ознакомления с общим положением вопроса охраны памятников природы.

В специальную задачу экспедиции входит всестороннее выяснение современного состояния всемирно известного заповедника и зоопарка Аскания-Нова Днепропетровского [уезда] Таврической губ[ернии] и выяснения необходимых мер к восстановлению его первоначального научного значения и поднятия его научно-исследовательской работы<sup>1</sup>.

Принимая во внимание важное государственное значение задач, которые ставит себе экспедиция, Народный комиссариат по просвещению просит все учреждения и должностных лиц оказывать П. К. Козлову всяческое содействие для беспрепятственного и быстрейшего передвижения экспедиции и успешного выполнения задач.

Замнарком М. Покровский.  
Зав. Управлением научных учреждений Академического Центра<sup>2</sup>

Зав. естественно-историческим отделом ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 2, д. 74, л. 133.

<sup>1</sup> Аскания-Нова — один из первых частных заповедников, основанный в 1874 г. Ф. Э. Фальц-Фейном для акклиматизации и гибридизации животных. Как государственный степной заповедник существует с 1929 г. Однако в годы гражданской войны многие титулисты во главе с П. К. Козловым принимали участие в сохранении Аскания-Нова. Именно потому на Козлова и было возложено руководство экспедицией по обследованию заповедника. Степь Аскания-Нова расположена на юге Украины, в Херсонской области, в 20—30 км от Сивашских заливов Азовского моря. Во флоре ее насчитывается более 417 видов растений с преобладанием злаковых. Там сохраняются 56 видов, занесенных в «Красную Книгу СССР» как редкие и 10 видов как исчезающие. В дендропарке произрастает более 150 видов и форм деревьев и кустарников. Содержится около 800 диких копытных животных (лошадь Пржевальского, антилопы, зебры, бизоны и др.).

<sup>2</sup> Подписи неразборчивы.

**Из протокола совместного заседания Государственного комитета по охране памятников природы и Совета Главмузея Наркомпроса РСФСР об итогах экспедиции П. К. Козлова в Асканию-Нова**

**29 сентября 1921 г.**

Заслушаны сообщения членов экспедиции, посетившей Асканию-Нова и вернувшейся 27 сентября:

В. И. Талиев сообщил, что целью экспедиции было увидеть, что осталось из тех научных ценностей, которыми была так богата Аскания; сборы экспедиции представляли значительные технические затруднения, которые удалось преодолеть благодаря энергичному содействию знаменитого сочлена экспедиции П. К. Козлова. В результате члены Комитета, посетившие Асканию, вынесли убеждение, что зоопарк представляет из себя и теперь еще такую громадную научную ценность, что должны быть приняты самые срочные и энергичные меры к сохранению его и восстановлению его в прежнем виде.

П. К. Козлов напомнил присутствующим, что сведения об Аскании уже в течение 60 лет появлялись в литературе. О ней написаны 31 статья на русском и 2 на иностранных языках. Известный таким образом всему миру зоопарк в последнее время многократно подвергался [опасности] быть разрушенным... Тяжелые минуты пережила Аскания, случилось, что воды прудов были обогрены кровью, в эти водоемы бросались разрывные снаряды, уничтожавшие их рыбные богатства. Но теперь период разрушения закончился, началось восстановление. Украинский Совнарком с энтузиазмом отнесся к мысли о необходимости поддержать Асканию и обещал принять все меры, указанные экспедицией...

Д. М. Россинский познакомил при-

сутствующих со значением Аскании для жизни птиц. Зоопарк лежит на одном из главных путей перелета птиц с севера., именно на среднем пути, который в этом месте разделяется на черноморско-дунайское и черноморско-кавказское направления. Метка птиц была начата лет 20 тому назад в Аскании и дает возможность следить за их перемещением. В Аскании возможны работы по изучению страуса, который способен там к размножению...

В. И. Талиев высказал в заключение, что заповедная степь Аскании цела, зоопарк же, разрушенные здания и научные кабинеты могут быть восстановлены. Благоприятным обстоятельством является то, что осуществление сельскохозяйственных заданий перенесено в соседнее имение и Аскания освобождена от чуждых ей работ; за ней остается научное значение...

После дальнейшего обсуждения предложенных вопросов решено приступить к организации Комитета, съезда для установления управления Асканией; подготовить нужно материалы, смету и положение о заповеднике, принять меры к широкому оповещению населения юга о значении его путем издания популярной брошюры...

Председатель Совета Главмузея  
Председатель Комитета по охране памятников природы  
Секретарь  
ЦГА РСФСР, ф. 358, оп. 2, д. 6, лл. 19—19 об., 20.

<sup>1</sup> Подписи отсутствуют.

**Выписка из протокола заседания Государственного комитета по охране памятников природы Наркомпроса РСФСР об охране сайги**

**24 декабря 1921 г.**

Слушали: 4. Сообщенную Г. А. Кожевниковым докладную записку проф. Д. Н. Кашкарова об истреблении сайги в Туркестанском крае. Ф. Ф. Шиллин-

гером предложено снести по данному вопросу с Центрохотой, т[ак] к[ак] сайга являет собой объект охоты.

Постановили: 4. Снести с

Центрохотой с тем, чтобы сайга была включена в число животных, охота на которых запрещается согласно новому, имеющему быть изданным, закону об охоте<sup>1</sup>. Немедленно послать Туркестанскому Правительству телеграмму за подписью Н. В. Крыленко и М. И. Калинина с просьбой принять срочные меры к прекращению охоты на сайгу.

ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 8, д. 135, л. 103.

**Из докладной записки директора естественноисторического музея Армении в Отдел охраны природы Наркомпроса РСФСР об учреждении заповедников и охране природы.**

**27 января 1925 г.**

...Что касается Кавказа, то интерес к охране природы возник здесь гораздо позже, именно в начале девятисотых годов, когда была взята под охрану роща Эльдарской сосны в Елизаветпольской губ[ернии]. Но в дальнейшем дело пошло быстрым темпом, сосредоточившись в Природоохранительной комиссии Кавказского Отделения Русского Географического Общества<sup>1</sup>. К 1913 году было уже утверждено 6 заповедников и намечено под таковые 7 новых участков в пределах Тифлисской, Елизаветпольской, Кутаисской губерний, Дагестанской обл[асти], Черноморского и Закатальского округов. Только Армения, в лице тогдашней Эриванской губ[ернии], осталась не затронутой этим движением, что являлось следствием ее неизученности и малоизвестности о ее природе кавказских натуралистов.

Первый шаг для заполнения указанного пробела был сделан Гокчинской экспедицией естественноисторического музея Армении... указавшей в своих докладах Совнаркому... на желательность учреждения заповедных участков.

Эти мотивированные ходатайства были уважены Совнаркомом, и все 7 поименованных участков, имеющих зоологический и ботанический интерес, декретом от 13 декабря 1923 года были признаны заповедными и изъяты из хозяйственного

Имеется в виду декрет ВЦИК и СНК РСФСР «О соблюдении правил охоты» и «Правила производства охоты, ее сроки и способы» от 24 августа 1922 г. В постановлениях было записано, что воспрещается круглый год добывать бобра, зубра, сайгана. В то время сайгак был на грани исчезновения. Благодаря принятым мерам сайгак сейчас — обычное промысловое животное.

пользования. Тем же декретом было поставлено учреждение при Наркомпросе постоянной Природоохранительной комиссии, в составе представителей от Наркомпроса, Наркомзема, Наркомрки (Народный комиссариат рабоче-крестьянской инспекции.— В. Х.) и директора естественноисторического музея. Ведению Комиссии подлежат все вопросы, связанные с заповедниками, как то: их организации, выработки правил охраны, учреждения новых заказников и пр.

К сожалению, дело охраны природы Армении на этом и остановилось, не приняв конкретных форм... Поэтому, приступая к делу, необходимо организовать Комиссию, как жизнедеятельный орган, который взял бы в свои руки все дело и развил его далее...

ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 10, д. 370, лл. 72—73 об., 74.

<sup>1</sup> Имеется в виду природоохранительная деятельность Кавказского отделения Русского географического общества. Однако в те годы организация охраны природы и заповедных участков в условиях существования частной собственности на землю носила ограниченный характер. Впоследствии в Армении были организованы Дилижанский государственный заповедник, расположенный на территории Ижидеванского и Красносельского районов в системе Малого Кавказа, и Хосровский государственный заповедник на территории Арташатского и Вединского районов в южной части Гегамского хребта.

### Из обращения Комиссии по охране памятников искусства, старины и природы при Наркомпросе Абхазской АССР о содействии в работе<sup>1</sup>.

18 мая 1925 г.

Постановлением Президиума Центрального Исполнительного Комитета ССР Абхазии (опубликовано в газете «Трудовая Абхазия» от 1 января 1925 г.) при Народном комиссариате просвещения учреждена Абхазская «Комиссия по охране памятников искусства, старины и природы».

Задача названной Комиссии заключается:

1) в производстве учета всех находящихся на территории Абхазии памятников искусства, старины и природы, имеющих историко-художественное, археологическое и научное значение;

2) в принятии всех действенных мер к охране этих памятников от порчи, разрушения, утери и уничтожения.

Постановлением Комиссии в заседании 3 апреля 1925 года признано необходимым нижеследующее обращение ко всем учреждениям и лицам, могущим оказать содействие работе Комиссии.

Абхазия богата памятниками старины и природы, имеющими высокий научный и художественный интерес и значение. Их бережная охрана и внимательное изучение должны быть признаны в культурном строительстве и росте Республики большой и неотложной задачей...

С другой стороны, той же охране, как предмет научного внимания, подлежат памятники природы, вымирающие экземпляры животного и растительного мира (древние насаждения, «священные рощи», отдельные деревья, сталактитовые пещеры, редко встречающиеся животные). Некоторые из этих памятников природы имеют совершенно исключительный интерес для науки и объявляются заповедниками, т. е. такими участками земли, которые навсегда подлежат полной охране

и извлекаются из какого бы то ни было хозяйственного использования (такова, например, в Абхазии Пицундская сосновая роща).

В целях охраны названных памятников, в качестве предварительных общих мер, Комиссия постановляет...

1) привести в известность и сделать точный учет, при содействии местных учреждений и лиц, всех памятников искусства, старины и природы, выяснив при этом же содействии все возможные и действительные меры к их охране;

2) широко оповещать население об имеющихся в данном районе означенных памятниках...

3) воспретить под страхом ответственности самочинную рубку леса и истребление насаждений в местах, объявленных заповедниками, а также уничтожение отдельных растений и животных, подлежащих охране и находящихся где-либо на территории Абхазии...

CGA RSFSR, f. 2307, op. 10, d. 4, ll. 166—166 об.

Председатель Комиссии Нарком по просвещению А. Чочуа.  
Члены: В. Стражев, В. Малеев, Н. Патеипа, Л. Вучетич.

Секретарь В. Соколов  
ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 10, д. 4, лл. 166—166 об.

### Отношение Наркомпроса РСФСР в Наркомпрос Белорусской ССР о содействии проф. Станчинскому в обследовании колоний речных бобров<sup>1</sup>.

13 июня 1925 г.

Народный комиссариат просвещения РСФСР предполагает текущим летом командировать в Западную область профессора Смоленского университета т. Стан-

чинского для обследования находящихся в этой части области колоний речных бобров. По ходу работ профессору Станчинскому придется ознакомиться с коло-

<sup>1</sup> Аналогичные постановления в это же время были приняты в ряде союзных и автономных республик: постановление Туркестанской республики об охране памятников природы от 13 мая 1922 г., постановление СНК Белорусской ССР «Об объявлении государственной собственностью памятников старины, искусства, быта и природы» от 5 июля 1926 г., постановление Северо-Осетинского облисполкома «Об охране памятников искусства, старины и природы» от 26 марта 1926 г. и др.

ниями бобров, входящими в пределы Белоруссии. Ввиду важности вопроса настоящим Народный комиссариат просвещения РСФСР просит Народный комиссариат просвещения Белоруссии сделать надлежащее распоряжение об оказании профессору Станчинскому содействия в возложенной на него работе по изучению мест обитания речных бобров, которые признаны на основании декрета СНК от 16 сентября 1921 г. (Собр. Узак. и Распор. 1921 г., № 66, ст. 492) неприкосновенными памятниками природы.

Зам. наркома по просвещению И. И. Ходоровский.

Заведующий Главнаукой Ф. Н. Петров.

Секретарь Модестов.

ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 9, д. 275, л. 113.

#### Отношение Главнауки НКП РСФСР в Комитет помощи народностям Севера при ВЦИК о мероприятиях по сохранению промысловых животных в Охотско-Анадырском районе<sup>1</sup>.

19 декабря 1925 г.

Заслушав в Государственном Комитете по охране природы доклад С. А. Бутурлина, посетившего минувшим летом Охотско-Анадырский район, Главнаука НКПроса, признавая огромное значение указанного района в промысловом значении, считает, что в интересах сохранения ценных промысловых животных необходимо проведение ряда культурных мероприятий в данной местности, ведущих к благосостоянию народностей северных окраин и тем самым к рациональному использованию и сохранению природных богатств страны. С целью тщательного обследования и изучения данного района Главнаука полагала бы весьма целесообразным отправку продолжительной научно-промысловой экспедиции, работы которой дадут материал для выделения тех или иных районов под заповедники, которые явятся резерватами для пополнения природных ресурсов.

Приложение: выписка из протокола Гос[ударственного] Комитета.

<sup>1</sup> Работы по обследованию мест обитания речных бобров проводились в контакте с Природоведческой секцией Института белорусской культуры. В результате экспедиционных работ были открыты колонии речных бобров в бассейнах рек Березины и Припяти, что позволило учредить ряд охотничьих заказников и заповедников для сохранения этих ценных животных.

В 1925 г. был организован Березинский государственный заповедник (ныне биосферный). В нем охраняется 906 видов высших сосудистых растений, 53 вида млекопитающих, 205 видов птиц, 5 видов пресмыкающихся, 8 видов земноводных и 30 видов рыб. В том числе в заповеднике сохранилась одна из немногих коренных популяций бобра.

Начальник Главнауки Ф. Н. Петров.

Зам. зав. отделом охраны природы С. А. Серверцев.

Зав. секретариатом Модестов.

ЦГА РСФСР, ф. 2307, оп. 10, д. 386, л. 202.

<sup>1</sup> Еще 27 июня 1923 г. на заседании Ученого совещания по охране памятников природы Наркомпроса РСФСР было признано своевременным организовать экспедицию на Командорские о-ва для выяснения состояния естественных богатств этих островов, в частности, котикового промысла (ЦГА РСФСР, ф. 2306, оп. 1, д. 1580, лл. 7 об.—8). 26 февраля 1926 г. было принято постановление СНК СССР об ограничении промысла морских котиков и морских бобров. В СССР численность морских котиков не только была восстановлена, но и доведена до таких размеров, что стало возможным вернуть их в сферу хозяйственной деятельности. Принимались меры для охраны других морских промысловых животных. В 1926 г. в СССР был объявлен полный запрет промысла калана. В 50-х гг. инспекторский надзор на Курильских и Командорских о-вах был усилен, в 60-е гг. на Курилах учредили многочисленные заказники местного значения, а о-в Уруп был объявлен заповедником местного значения. Эти мероприятия обеспечили рост численности калана.

**Выписка из протокола заседания**

**Государственного Комитета по охране природы Наркомпроса РСФСР  
о работе Средне-Азиатского комитета по делам музеев и охраны памятников  
старины, искусства и природы (Средазкомстариса.— В. Х.)<sup>1</sup>**

**24 февраля 1926 г.**

Слушали: 8. Доклад Д. И. Нечкина о задачах и ближайшем плане работ охраны природы Средазкомстариса.

Постановили: I. Считать необходимым отметить большую и ценную работу, произведенную Средазкомстарисом, учитывая неблагоприятные условия для этой работы: незначительность материальных средств, небольшое число работников, огромность территории и пр.

II. Государственный Комитет считает целесообразным и необходимым в интересах охраны памятников природы сохранение для Средней Азии одного объединенного органа по охране природы в лице Средазкомстариса, и всякое добавление его или отрыв от него отдельных частей будет вредным для дела охраны природы Средней Азии...

IV. Просить Средазкомстарис усилить пропаганду идей охраны природы посредством издательства [литературы] на языках коренного населения.

V. Просить Средазкомстарис выделить район под заповедник пустынного характера (Лессовая пустынь).

VI. Просить Казахскую республику пойти навстречу Средазкомстарису в образовании из острова Барсакельмес Государственного заповедника для сайги, ку-

лана и пр., как исчезающих видов фауны Казахстана<sup>2</sup>.

VII. Считать правильным мероприятие Средазкомстариса по образованию районов Кара-Бастау и Ак-Бастау в целях сохранения для науки...

Просить представителя Казахской АССР В. Н. Кучербаева представить Гос[ударственному] Комитету по охране природы материал, относящийся к охране природы местного края в связи с нравами и бытом местного населения.

Председатель Гос[ударственного] Комитета  
Н. М. Кулагин.

Секретарь Е. Г. Блошенко.  
ЦГА РСФСР, ф. 358, оп. 2, д. 11, лл. 6—7 об.

23 мая 1921 г. постановлением СНК Туркестанской республики было утверждено «Положение о Комитете при Наркомпросе по делам музеев и охраны памятников старины, искусства и природы». В составе Туркомстариса (позднее Средазкомстариса) была создана специальная секция охраны природы.

Государственный заповедник «Барсакельмес» организован в 1939 г. на о-ве Барсакельмес в Аральском море. Здесь зарегистрировано 257 видов цветковых растений, 13 видов млекопитающих, 202 вида птиц, 8 видов пресмыкающихся, 1 вид земноводных. Среди животных заповедника — такие редкие, как кулан и джейран, важнейшее промысловое копытное — сайгак.

**План работ Отдела охраны природы Наркомпроса РСФСР  
по линии национальных меньшинств**

**8 марта 1926 г.**

...1. Изучение районов, занятых национальными меньшинствами, в отношении природных богатств этих районов и изучение вопроса об использовании этих богатств с точки зрения возможного их источника и с точки зрения необходимости принятия тех или иных мер к охране этих природных богатств...

2. Разработка вопроса о том, где именно должны быть устроены заповед-

ники в областях, занятых нацменьшинствами и постепенное проведение в жизнь устройства этих заповедников...

3. Вовлечение представителей нацменьшинств в работу по охране природы...

4. Снабжение библиотек, организуемых для нацменьшинств, литературой по охране природы, как на русском языке, так и на языках нацменьшинств...

ЦГА РСФСР, ф. 296, оп. 1, д. 166, лл. 1—3 об., 4.

**Выписка из протокола заседания президиума  
Государственного Комитета по охране природы Наркомпроса РСФСР  
об организации Кызыл-Аганского заповедника.**

**21 января 1927 г.**

...Президиум Гос[ударственного] Комитета констатирует, что: а) мероприятия, проводящиеся на территории РСФСР по охране птиц и изучению их биологии и пролетных путей, не достигнут своей цели в полной мере, если не будут сопровождаться соответствующими мероприятиями в союзных республиках, на территории которых расположены места зимовки птиц; б) количество птицы, прилетающей на лето в РСФСР, имеет большое экономическое значение, т[ак] к[ак] многие из пролетных птиц служат объектом значительного промысла, а другие являются истребителями вредных насекомых (саранча); в) в изучении биологии пролетных путей заинтересованы многие научно-исследовательские учреждения РСФСР, а в особенности Астраханский государственный заповедник в дельте Волги, учрежденный с целью охранения пролетной птицы и их изучения:

**Отношение Наркомпроса РСФСР в Наркомпрос Азербайджанской ССР  
о необходимости организации заповедника в Кызыл-Агачском заливе.**

**11 июля 1927 г.**

На юго-западном побережье Каспийского моря, от устья р. Куры до Ленкорани, включая весь залив Кызыл-Агач, расположены главные места зимовок пролетной птицы, которая выводится летом в Европейской части РСФСР и Западной Сибири. Природные условия, обилие корма и почти полное отсутствие населения (имеются лишь небольшие рыбацьи поселки) обеспечивают спокойную зимовку птиц, разнообразные представители которых собираются сюда громадными стаями. Этот факт давно обратил на себя внимание естествоиспытателей, которые на бывших в Тифлисе и Москве съездах неоднократно высказывались о необходимости защиты скопляющейся здесь птицы от истребления путем учреждения особого заповедника. Принимая во внимание, что биология птиц на зимовках до сих пор еще мало изучена, что Наркомзем Азербайджанской республики запретил охоту на птиц в пределах названной территории; что наблюдений над биологией птиц

Все вышеуказанное заставляет президиум Государственного Комитета признать охрану и изучение птиц на всем побережье Каспийского моря делом всесоюзного значения, которое может быть выполнено только совместными действиями РСФСР и Азербайджанской ССР.

Учитывая все эти обстоятельства, президиум Госкомитета считает необходимым разработать конкретный план мероприятий по охране птиц и через соответствующие инстанции согласовать с Азербайджанской ССР.

ЦГА РСФСР, ф. 2306, оп. 69, д. 1411, лл. 14—14 об.

<sup>1</sup> 3 июня 1929 г. постановлением СНК СССР был учрежден Кызыл-Агачский заповедник, объявленный всесоюзным заповедником перелетной промысловой птицы. Ныне 19 видов птиц, встречающихся на территории заповедника, внесено в «Красную Книгу СССР». Всего в заповеднике — 248 видов птиц. В этом же году в Азербайджане был учрежден и еще один заповедник — Закавказский.

в пределах только Астраханского заповедника недостаточно, так как птица, населяющая этот заповедник, в суровые зимние месяцы переключивается в Кызыл-Агачский залив и этот факт прерывает годовой цикл наблюдений, что вопрос о создании в Кызыл-Агачском заливе птичьего заповедника в принципе признан Государственным Комитетом по охране природы весьма желательным, Народный комиссариат просвещения РСФСР считает весьма своевременным устройство такого заповедника с постановкой в нем стационарных наблюдений над биологией птиц. На этом основании НКП РСФСР просит Вас не отказать сообщить Вашу точку зрения по этому вопросу с целью возможной совместной с нами проработки.

Зам. наркома по просвещению И. И. Ходоровский  
Секретарь<sup>1</sup>  
ЦГА РСФСР, ф. 2306, оп. 69, д. 1411, лл. 13—13 об.

<sup>1</sup> Подпись неразборчива.

## Проблема источников рудного вещества

Н. В. Петровская, В. И. Рехарский



Нина Васильевна Петровская, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР. Специалист по минералогии и генезису рудных месторождений. Автор многих статей и ряда монографий, в том числе: Самородное золото. М., 1973. Лауреат Государственной премии СССР.



Владимир Иосифович Рехарский, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора того же института по научной части. Специалист по вопросам геохимии рудных месторождений. Автор большого числа статей и монографий, среди них: Геохимия молибдена в эндогенных процессах. М., 1973.

В настоящее время в большей мере, чем когда-либо ранее, успехи в освоении минеральных ресурсов зависят от знания природы геохимических аномалий, которые выражены в локальных скоплениях металлов, именуемых рудными месторождениями. Из этого общепризнанного положения следует, что необходимо найти ответы на три основных вопроса: откуда поступали металлы и сопровождающие их элементы; как и по каким путям они перемещались в толще земной коры; где, в каких условиях они прекращали движение, оставляя свой ценный груз. Иначе говоря, нужна реконструкция трех важнейших фрагментов общей картины рудообразования: источников рудных веществ,

миграции этих веществ и их аккумуляции.

Уровни знаний по упомянутым вопросам далеко не равноценны. Изучение руд и вмещающих их пород, эксперименты, моделирующие перенос и отложение соединений металлов в разных средах, теоретические расчеты уже создали основу представлений о путях движения металлоносных флюидов и условиях образования руд. Вместе с тем о первых периодах рудогенеза мы знаем еще мало, и наши суждения о них наиболее предположительны.

Большинство ученых признают принципиальную возможность поступления металлоносных растворов либо из остывавших магм, либо из осадочных и вулканоген-

но-осадочных пород (с концентрацией рассеянных в них металлов под действием метаморфизма), либо из глубинных частей Земли — из верхней мантии. Попытаемся оценить значение каждого из упомянутых типов источников на основе анализа накопленных к настоящему времени материалов, в том числе полученных авторами в процессе работы в разных рудоносных регионах.

### ЭВОЛЮЦИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИСТОЧНИКАХ

Стремление проникнуть в тайны источников металлов, сосредоточенных в тех или иных рудах, проявилось еще на первых этапах развития геологии как самостоятельной науки. В XVI в. Г. Агрикола (Г. Бауэр) в книге «Возникновение и причины возникновения материи и явлений под Землей» упомянул о «соках Земли», образовавших жилы. В XVII в. Р. Декарт выдвинул положение о поступлении рудных веществ в земную кору из глубинных частей Земли. В середине XVIII в. М. В. Ломоносов в трактате «Слово о рождении металлов от трясения Земли» с гениальным предвидением писал о различиях между происхождением кварца, а с ним и других жильных минералов, что «из горы выжимаются с водой», и рудных минералов, возникающих из эманаций в потоках глубинного тепла.

Примечательно периодическое оживление интереса к характеру источников металлов. Два столетия отделяют нас от того времени, когда работами профессора фрейбергской Горной академии И. Шерпентье и его современника С. Герхарда было положено начало так называемой латераль-секреционной теории, согласно которой вещество рудных тел заимствовалось из боковых пород циркулировавшими в них водами преимущественно поверхностного происхождения. Эта концепция сразу же подверглась ожесточенной критике, в том числе со стороны таких авторитетных ученых, как шотландец Дж. Геттон, считавший, что источниками рудогенных элементов, как и магматических пород, с которыми ассоциируют рудные месторождения, служили глубинные очаги магм.

Борьба между этими концепциями, сторонники которых получили образные названия непунистов и плутонистов, то затихала под давлением новых аргументов, заставлявших склоняться чашу весов к одной из сторон, то вновь разгоралась.

Непунистами были Ф. Зандбергер, опубликовавший в 1882 г. обстоятельный труд «Исследования минеральных жил», и А. Г. Вернер, выступивший в 1891 г. в печати с «Новой теорией образования жил», возникавших, по его мнению, в породах дна океана при оползнях или землетрясениях. Эти представления имели многочисленных последователей в разных странах мира. Еще более активной была защита концепции «плутонистов», поддержанной в XIX в. многими учеными Европы и Америки (работы Ж. Фурне, И. Брунера, Э. де Бомона и др.) и ставшей к началу XX в. наиболее популярной.

Вместе с тем постепенно созревала мысль о невозможности относить все рудные месторождения к продуктам деятельности источников одного универсального типа. В начале XX в. крупнейший американский геолог В. Линдгрэн выделил группу эндогенных рудных месторождений, образованных «концентрацией веществ, присутствующих в самих породах», и группу месторождений, «посторонних вмещающим породам», связанных с магматической деятельностью или независимых от нее. Месторождения магматического и метаморфического генезиса выделялись также П. Ниггли, Г. Шнейдерхеном, В. А. Обручевым и другими учеными. Спор между разными школами исследователей на этом не прекратился; он лишь перешел в область оценки главенствующей роли магматических и внемагматических сфер генерации рудного вещества.

Современное состояние проблемы характеризуется широким признанием концепции множественности типов рудогенерирующих источников. Ее сущность, четко сформулированная нашим ведущим теоретиком в области металлогении В. И. Смирновым<sup>1</sup>, сводится к выделению трех основных типов источников: ювенильных подкоровых (связанных с базальной магмой), ассимиляционных коровых (связанных с гранитоидной магмой) и инфильтрационных внемагматических. Проблема становится многоплановой. Материалы последних лет убеждают в том, что источники металлов и сопровождавших их элементов, источники переносивших их вод и флюидов, а также тепловой энергии, необходимой для рудообразования, могли быть разными даже при формировании одного рудного поля. Возрастает популярность идей полигенности и поли-

<sup>1</sup> Смирнов В. И. — Известия АН СССР, сер. геол., 1969, № 3, с. 3.

хронности многих месторождений. Предпринимаются попытки количественно оценить закономерности, на которых базируются представления о роли разнотипных источников рудных веществ<sup>2</sup>.

### МАГМАТИЧЕСКИЕ ТЕЛА КАК ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ МЕТАЛЛОВ

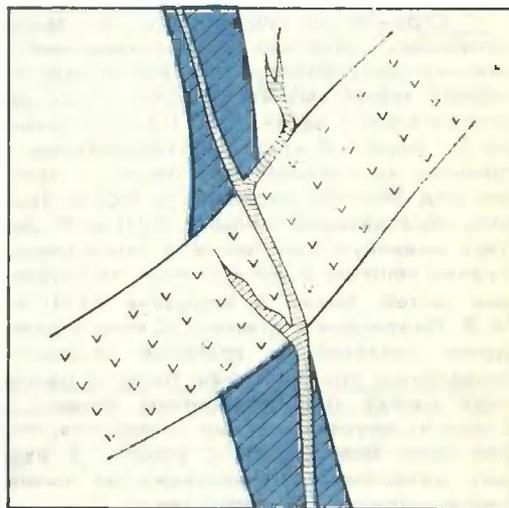
Представление о магматических очагах как основных поставщиках металлоносных флюидов не потеряло своего значения по настоящее время. Активная и, в определенной мере, справедливая критика «ортодоксальной магматической концепции» привела лишь к освобождению ее от слишком прямолинейной и потому упрощенной трактовки связи руд с интрузивными телами. Главные положения этой концепции, намеченные в конце XIX — начале XX вв. и существенно дополненные в последние десятилетия, вкратце сводятся к следующему.

Проявления магматизма и рудообразования обычно сопряжены во времени и в пространстве: металлогенические провинции, сосредоточившие крупнейшие месторождения благородных, цветных и редких металлов, являются вместе с тем областями интенсивного развития магматизма. Таковы, например, рудные пояса Урала, Енисейского кряжа и восточных районов СССР, Скалистых гор в США, многих районов Австралии и других континентов.

Формирование руд обычно началось после остывания магматических тел или в конечные его стадии. Местами отчетливо видны признаки чередования рудной минерализации и повторных внедрений магмы по трещинам; они наблюдались нами и другими исследователями по характерным пересечениям рудных жил дайками, а последних — прожилками рудосного кварца. Такие соотношения не удивительны, поскольку, по современным данным, магмы на больших глубинах остывали в течение многих тысяч и миллионов лет и столь же длительным было формирование крупных рудных месторождений. Очевидно, в эти периоды какие-то части магматических камер не успевали затвердеть.

Веским аргументом в пользу концепции магматических источников металлов служит то, что в определенных типах

месторождений черных и цветных металлов установлены отчетливые признаки образования руд в процессе дифференциации металлоносных магм. Доказано также, что состав руд зависит от состава интрузивных пород, с которыми они имеют пространственно-временные связи: с комплексами пород основного — ультраосновного состава ассоциируются руды платиновых и платиноидов, меди, никеля, хрома, титана, с гранитоидами — месторождения цветных и благородных металлов, а также некоторых редкоземельных элементов.



Зарисовка пересечения кварцево-рудной жилы дайкой интрузивных пород и последней — более поздними прожилками рудосного кварца.

-  Дайка интрузивных пород
-  Кварцево-рудная жила
-  Прожилок рудосного кварца

Показатели этих связей широко используются при прогнозных оценках рудосных территорий.

В последнее десятилетие выявлены новые признаки геохимического родства некоторых руд с материнскими изверженными породами: минералы пород, как оказалось, содержат примеси тех элементов, которые определяют геохимический тип и промышленную ценность месторождений. Например, биотит и роговые обманки гранитоидов обогащены примесями олова, вольфрама, молибдена, тантала, ниобия в районах, где с ними ассоциируются руды тех же металлов. По нашим и другим

<sup>2</sup> Кривцов А. И., Макеева И. Т. — Итоги науки и техники. Сер. рудн. месторожд., т. 11. М.: ВИНТИ, 1981.

данным, намечается близость изотопного состава свинца, находящегося в материнских гранитоидах и в рудах (пример — медно-молибденовые месторождения Восточного Забайкалья).

В ряде районов отмечено, что характер рудной минерализации закономерно меняется по мере удаления от границ интрузивных тел, рассматриваемых как материнские для рудного вещества: во внутренних зонах обычно сосредоточены месторождения вольфрама и олова, далее они сменяются медной и свинцово-цинковой минерализацией, проявлениями золота, а во внешней зоне преобладают минералы сурьмы и ртути. В 30-х годах американский геолог В. Эммонс выделил до 16 таких зон, полагая, что они возникли как следствие эволюция состава флюидов, поступивших из крупных магматических тел — батолитов. Впоследствии батолитовая гипотеза была отвергнута. Вместе с тем признаки зональности оруденения, подобные отмеченным выше, стали обнаруживаться не только в связи с интрузивами, но также около протяженных зон разломов, осей складчатых систем и других структур, с которыми могли быть связаны основные каналы движения рудоносных флюидов.

Участки развития той или иной минерализации, как оказалось, далеко не всегда занимают определенные места в зонально построенных ареалах оруденения, а в некоторых случаях пересекают смежные зоны. Так, по нашим данным, сурьмяная минерализация в Забайкалье (как и в ряде других регионов), широко развитая за пределами золоторудных зон, часто накладывается на них, причем здесь золото-кварцевые жилы и прилегающие к ним породы пересекаются жилами и прожилками кварц-антимонитового состава. Такие примеры свидетельствуют, во-первых, о более сложных, чем представлялось ранее, связях рудообразования с магматизмом, а во-вторых, — о конвергентности явлений зональности оруденения.

Способность магматических тел генерировать металлоносные флюиды подтверждается данными экспериментов и термодинамических расчетов, а также анализами состава интрузивных и вулканогенных пород. Согласно этим данным, магма в разных, но достаточно весомых количествах содержит воду, углекислоту, а также многие летучие соединения. Опыты известного американского петролога Р. Горансона показали, что при 900°C и давлении, соответствующем глубине 7—15 км, количество воды, растворенной в гранитоидной

магме, могло составлять 8—9%. Исследования сотрудника нашего института И. Д. Рябчикова, проведенные совместно с американскими коллегами В. Уоллом и К. Бернэмом, показали, что количество металлов, поступавших из интрузивов средней величины (объем около 100 км<sup>3</sup>), было достаточно для образования крупных рудных месторождений. Таким образом, имеются убедительные доказательства потенциальной способности магматических очагов служить источниками рудоносных растворов.

Крупнейший советский кристаллограф Н. В. Белов нарисовал оригинальную картину возникновения в остывавшем расплаве камер-«фонарей» из 24-х кремний-алюминиевых тетраэдров, заключавших в себе относительно крупные атомы, в первую очередь, хлора и серы<sup>3</sup>. Пары серы, сероводород и т. п. создавали в магме, по выражению Н. В. Белова, «нечто вроде дантова ада — минералогической преисподней»; они играли здесь роль своеобразной губки, извлекавшей рассеянные в магме металлы. При разрушении «фонарей» их содержимое освобождалось и мигрировало за пределы интрузивов, в сферу рудообразования.

Большинство исследователей признает существенную роль магматических тел как источников тепла, определяющего палеотемпературный режим формирования руд. Вместе с тем расчеты, проведенные в последнее время В. И. Смирновым, показали, что тепловой энергии, выделяемой остывающими интрузивами, недостаточно для образования скарновых, грейзеновых и гидротермальных рудных месторождений<sup>4</sup>. Дефицит тепловой энергии, по его мнению, покрывался за счет глубинных источников тепла.

#### РОЛЬ ОСАДОЧНЫХ И ВУЛКАНОГЕННО-ОСАДОЧНЫХ ПОРОД В ОБРАЗОВАНИИ РУД

Породы не могли служить пассивной средой при прорывах магм и просачивании горячих рудоносных флюидов: неизбежным было их взаимодействие с «пришельцами», обмен с ними некоторыми элементами. Поровые растворы и рассолы, содержавшиеся в породах, несомненно,

<sup>3</sup> Белов Н. В. — Минералог. ж., 1981, № 6, с. 7.

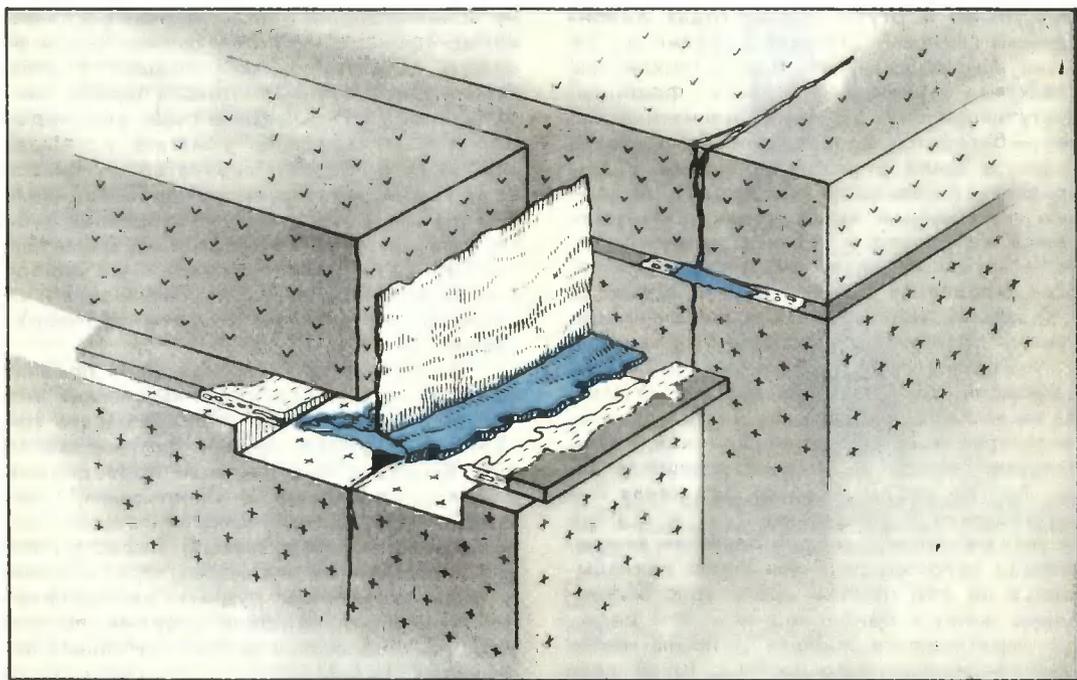
<sup>4</sup> Смирнов В. И. — Геол. рудн. месторожд., 1981, т. 23, № 1, с. 5.

захватывались магмами и флюидными потоками, влияя на их металлоносность. Вопрос лишь в том, насколько такие взаимодействия определяли состав руд и их промышленную ценность. Мнения ученых здесь расходятся.

Одни полагают, что влияние окружающих пород сказывалось только в обогащении глубинных рудоносных растворов петрогенными элементами (Si, Al, Ca, Mg, Fe и др.). Другие же считают, что осадочные и вулканогенно-осадочные породы сами служили источниками рудных веществ, от-

давая в процессе метаморфизма рассеянные в них примеси ценных металлов. При оценке степени достоверности этих заключений необходимо учитывать следующие данные.

Многие месторождения локализируются избирательно в определенных толщах пород. Так, в некоторых районах отмечается пространственная связь полиметаллического сульфидного оруденения с соленосными и нефтепродуцирующими отложениями. О приуроченности золоторудных месторождений к метаморфизованным вулкано-



Горизонтальная залежь сульфидно-карбонатных руд, возникшая в месте пересечения прослоя известковых пород кварцевой жилей.

-  Залежь сульфидно-карбонатных руд
-  Кварцевая жила
-  Прослой карбонатных пород
-  Измененные карбонатные породы
-  Архейские граниты
-  Послеюрские сиенит-порфиры

генным породам основного состава, так называемым зеленым сланцам, писали еще в прошлом веке крупнейшие русские геологи А. М. Карпинский, И. В. Мушкетов, А. В. Иностранцев и др. Обобщая материалы по металлогении золота, С. Д. Шер отметил, что 3/4 этого металла добывается из месторождений в зеленокаменных породах (Австралии, Канады и др.). Однако эта закономерность не универсальна; известны концентрации золота в углистых черносланцевых толщах, в гранитоидах и других породах.

Во многих районах авторы наблюдали «зримые» признаки влияния исходного

состава окружающих пород на состав рудных тел. Пересекая разные породы, кварцеворудные жилы обогащаются минералами, содержащими многие петрогенные элементы. В богатых глиноземом ( $Al_2O_3$ ) породах в рудных телах появляются алюмосиликаты — хлориты, слюды, турмалин, полевые шпаты. В рудных полях Центрального Алдана, детально изучавшихся одним из авторов, жилы, пересекая горизонтально лежащую толщу известковых пород, обогащаются карбонатами, а местами сопровождаются пологими пластобразными сульфидно-карбонатными залежами. Можно полагать, что в общем случае количество заимствованного петрогенного вещества зависило от состава и мощности земной коры в рудоносных областях.

Одним из индикаторов влияния пород на рудообразование является изотопный состав серы сульфидов. Постоянное отклонение величины  $^{34}S/^{32}S$  от среднего значения ее в метеоритах рассматривается как признак поглощения серы рудоносными растворами из окружающих пород. Повышенные содержания легкого изотопа  $^{32}S$  возникают при биогенном функционировании изотопов этого элемента. По данным ведущего советского минералога Ф. В. Чухрова, они характерны для сульфидов медно-цинковых месторождений Джезказгана в Казахстане, Удокана в Забайкалье, Сардона в обрамлении Алданского щита, что позволило считать осадочные породы источниками рудного вещества этих месторождений<sup>5</sup>. Повышенные концентрации тяжелой серы в сульфидных жильных месторождений и сульфидных залежах в ряде случаев явилось основанием для вывода о заимствовании сульфатного вещества из подрудных зон. Любопытно, что подобные признаки установлены при анализе изотопного состава серы сульфидов в рудах явно магматического генезиса (например, медно-никелевых руд норильского типа)<sup>6</sup>.

Агентами переноса рудогенных элементов могли служить атмосферные или морские воды, захороненные в осадках, т. е. воды, не связанные с магматизмом и дегазацией верхней мантии Земли. Проникая на относительно большую глубину, они нагревались и, взаимодействуя с минералами окружающих пород, становились высококонцентрированными растворами и

рассолами (натриево-хлоридными, натриево-кальциевыми и т. д.). Затем, в благоприятных условиях они могли отлагать выщелоченные из пород металлы, подобно ювенильным растворам. Такая концепция разрабатывается Ф. В. Чухровым и рядом других исследователей. Формируются также представления о хлор-кальциевой гидросфере Земли как планетарном источнике рудообразующих растворов<sup>7</sup>. Главными факторами локального переноса массы и тепла, с этих позиций, считаются конвекционные потоки.

Следы участия поверхностных вод в рудообразовании распознаются по «воздушным» соотношениям аргона с другими газами, содержащимися в виде включений в минералах руд, и по резким колебаниям отношений концентраций  $^{18}O/^{16}O$  и  $^{87}Sr/^{86}Sr$  и др.

В настоящее время не вызывает сомнения, что большая часть кремнезема, глинозема, существенное количество серы и какая-то часть железа заимствовались при рудообразовании из осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Что же касается источников металлов большинства эндогенных месторождений, образовавшихся в связи с деятельностью глубинных флюидов, то вопрос о них остается спорным. По-видимому, имело место как поглощение растворами вещества пород непосредственно в сфере рудообразования, так и миграция вещества с относительно большой глубины, из области так называемого ультраметаморфизма и плавления пород (палингенного магмообразования). При этом в большой мере нивелируются оценки роли метаморфических и магматических источников металлов, деятельность которых в данных условиях тесно переплеталась.

Источниками металлов ряда месторождений могли служить не только глубинные породы, но и залегавшие в них более древние рудные тела. Однако нет оснований считать, что явления регенерации рудных месторождений имели столь широкое развитие, как это предполагает один из теоретиков рудогенеза — Г. Шнейдерхен.

По совокупности показателей можно полагать, что явление заимствования вещества пород в наибольшей степени сказывалось при формировании ряда месторождений железа, свинца, цинка, меди.

<sup>5</sup> Источники рудного вещества эндогенных месторождений. М., 1976, с. 85—99.

<sup>6</sup> Годлевский М. Н. — Тр. Ин-та геол. Арктики, 1967, т. 151, с. 173.

<sup>7</sup> Подробнее см.: Азизов А. И. — Геол. рудн. месторожд., 1975, т. 17, № 2, с. 70.

## РУДНОЕ ВЕЩЕСТВО ИЗ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

На существенное значение мантийных источников рудного вещества в эндогенном рудообразовании неоднократно указывали В. И. Смирнов, В. А. Кузнецов, Ф. К. Шипулин. Эти взгляды разделяют и авторы данной статьи. Но точно оценить роль таких источников весьма сложно, так как приходится опираться лишь на косвенные данные.

Есть основания считать, что глубинные зоны Земли, включая верхнюю мантию, обогащены такими металлами, как железо, никель, хром, платиноиды, золото, ртуть и др. Это мнение базируется на общих геофизических расчетах, на результатах изучения метеоритов — признанных аналогов вещества глубинных частей нашей планеты, а также на фактах высокой металлоносности интрузивных пород, мантийное происхождение которых не подлежит сомнению. Используя данные о распространенности элементов и их содержании в различных геологических образованиях и метеоритах, ученые пытаются выявить типично мантийные ассоциации элементов и сопоставить их с типично коровыми. Подобные построения привели к определению геохимических индикаторов мантийного вещества в рудах. Но здесь имеется одна тонкость, связанная с необходимостью учитывать неоднородность мантии. О ней говорят, в частности, разные содержания рудогенных элементов-примесей (Fe, Ti, Cr, Mn, Cu и др.) в образцах базальтов — пород мантийного происхождения, взятых в разных участках океанического ложа.

Также неоднородными были, очевидно, тепловые и флюидные потоки, зарождавшиеся в мантии. По современным представлениям, в верхней мантии в виде паро-газовых смесей содержатся  $\text{CO}_2$ , HCl, F,  $\text{H}_2\text{O}$ , ионы OH. По расчетам известного советского вулканолога Е. К. Мархина, только в результате вулканических извержений с верхнемелового периода до наших дней из мантии на поверхность планеты было вынесено  $10^4$  т водяных паров и различных газов<sup>8</sup>. Отмечается периодическая активизация глубинных потоков гелия, водорода, ртути и других летучих

веществ, получившая образное название «дыхания Земли»: гелиевого, водородного и т. д. В минералах мантийных пород (например, кимберлитов) обнаружено большое количество включений  $\text{CO}_2$ .

Транспортерами металлов могли быть и мантийные выплавки магмы, служившие своего рода промежуточными коллекторами рудного вещества, и самостоятельные потоки глубинных эманаций, возникавшие параллельно с магматическими телами и проходившие через такие тела — «сквозьмагматические», по идее известного советского теоретика в области петрологии Д. С. Коржинского<sup>9</sup>, или автономные, связанные с общими явлениями дегазации мантии.

Мантия и глубинные зоны Земли, по-видимому, являлись главными поставщиками тепловой энергии, необходимой для рудообразования. Но можно допустить, что наряду с глубинным теплом, иногда соперничая с ним по значимости, существовали местные источники тепла; генерация его могла быть связана с интенсивными тектоническими движениями, особенно с горизонтальными перемещениями крупных масс пород, а также с импактными процессами, порожденными ударами космических тел. Роль их пока недостаточно ясна.

Геолого-геофизические исследования последних десятилетий показали, что связь внутрикоровых и подкоровых геологических событий во все металлогенические эпохи была гораздо более существенной, чем это считалось ранее. В свете этих данных трудно представить себе, что рудообразующие процессы, развивавшиеся в огромных поясах длиной в сотни и тысячи километров или в овално-кольцевых структурах диаметром свыше 50—80 км, могли протекать независимо от подкоровых зон и что их источники сосредоточивались в тонкой пленке земной коры. Разломы, контролировавшие положение рудных поясов, несомненно, достигали верхней мантии, и совершенно очевидно, что они должны были выводить мантийные эманации в земную кору<sup>10</sup>. Если допустить, что состав ценного груза таких эманаций

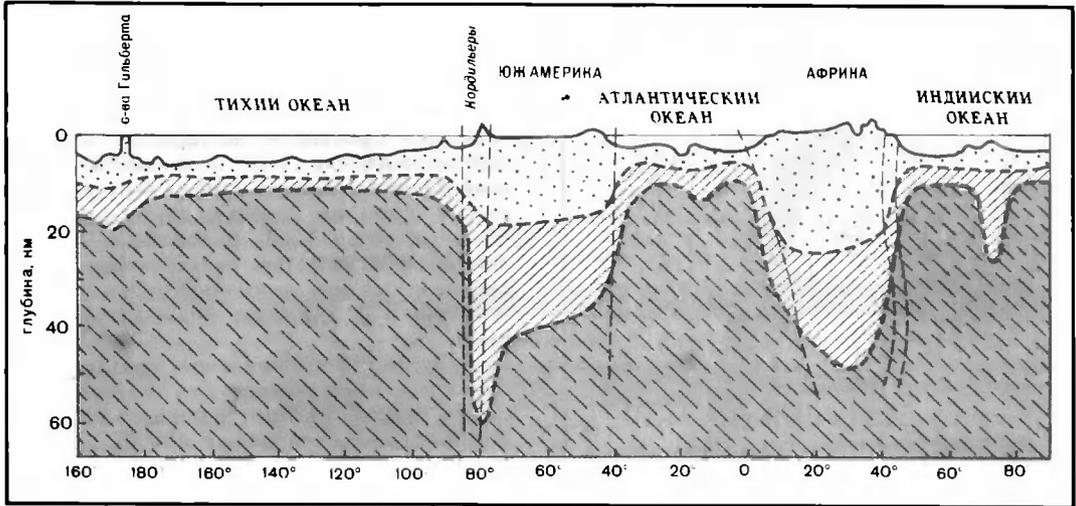
<sup>9</sup> Подробнее см.: Зотов И. А. Трансмагматические флюиды в геологии. — Природа, 1982, № 7.

<sup>10</sup> Фаворская М. А. На подступах к глобальной металлогении. — Природа, 1973, № 3; Пейв А. В., Трифонов В. М. Мобилизм и глобальная расчлененность литосферы. — Природа, 1981, № 8.

<sup>8</sup> Мархин Е. К. Роль вулканов в выносе вещества из мантии и в формировании земной коры (на примере Курильской островной дуги). — В сб.: Кора и верхняя мантия Земли. М., 1963, с. 207.

был относительно постоянным, то получает объяснение устойчивость геохимических ассоциаций металлов и, соответственно, состава рудообразующих минеральных комплексов в различных частях протяженных рудных поясов, хотя последние пересекают районы, сложенные самыми разными породами. Это, в частности, было установлено нами при сопоставлении минеральных парагенезисов в месторождениях, расположенных в разных фрагментах протяженного рудного пояса Енисейского кража.

Большие надежды возлагаются на индикаторное значение величины  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ , равной в метеоритах (и в океанических базальтах)  $0,7037 \pm 0,003$ ; близость к этой величине соотношений изотопов стронция в карбонатитах рассматривается как свидетельство связи этих образований с мантийным источником. Вывод о мантийном происхождении воды обосновывается результатами изотопного анализа водорода, входящего в гидроксил-ион слюдистого минерала флогопита и других минералов мантийных пород. Как признак учас-



Схематический разрез через земную кору и мантию (по Р. М. Деменичкой, 1975, с дополнениями).

-  «Гранитная» часть земной коры
-  «Базальтовый» слой
-  Мантия
-  Разломы (вероятные пути восходящего движения мантийного вещества)

К решению вопроса о роли мантийных источников рудогенных элементов все шире привлекаются методы изотопной геохимии. В этом плане наиболее широко используется изотопный состав серы ( $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ ) сульфидов — обычных минеральных компонентов большинства рудных месторождений<sup>11</sup>.

тия мантийной составляющей в газах используются отношения концентраций  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  и  $^3\text{He}/^4\text{He}$ .

Комплекс элементов, изотопный состав которых рассматривается как показатель поступления вещества из мантии, все более расширяется; в него уже включены отношения  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ,  $^7\text{Li}/^6\text{Li}$  и др. Все же роль мантийных источников при формировании конкретных месторождений не всегда характеризуется достаточно убедительно.

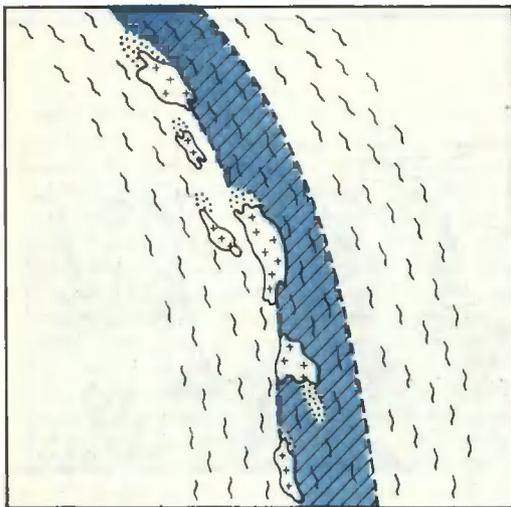
### СОВОКУПНОЕ ДЕЙСТВИЕ НЕСКОЛЬКИХ ИСТОЧНИКОВ

Мысль М. В. Ломоносова об одновременном поступлении разных элементов из разобщенных источников получила в последние десятилетия неожиданно широкое развитие. Выше мы упоминали о заимствовании материала пород флюидными потоками различного, в том числе магматического и мантийного, происхождения. Накапливаются доказательства мно-

<sup>11</sup> Хотя в литературе встречаются критические замечания по части использования этого индикатора, но именно он позволил обосновать вывод о глубинном мантийном происхождении серы колчеданных и некоторых ртутных месторождений.

жественности источников воды, серы и самих металлов.

Вероятность поступления рудного вещества в одну и ту же эпоху рудообразования из двух и более разноглубинных сфер уже отмечалась одним из авторов настоящей статьи<sup>12</sup>. При этом допускалось, что источники могут быть разнотипными (магматическими и внемагматическими) или принадлежать к одному типу, например, представлять собою разобщенные магматические камеры. Автономное развитие источников на разных уровнях глубин



Схема, характеризующая пространственные соотношения регионального пояса кварцево-рудной минерализации и локальных полей метасоматических пород, сопровождающих пегматитовые тела около интрузивных массивов, которые прорывают толщу сланцев.

-  Измененные осадочные и вулканогенно-осадочные породы
-  Зона кварцево-рудной минерализации
-  Интрузивные гранитоидные массивы
-  Поля пегматитов

могло предопределять различия их металлогенической специфики, а близость путей движения выделяемых ими флюидов — обеспечивать частичное пространственное совмещение «разноисточниковых» рудных образований. Наши представления, подкрепляемые в последние годы новыми до-

казательствами, могут быть суммированы в виде следующих положений.

Месторождения определенных рудных формаций, образованные при главенствующей роли одного источника вещества, как правило, обладают постоянными наборами минеральных ассоциаций, в общем однотипных по составу и последовательности своего образования. Следы деятельности второго источника сказываются в появлении ассоциаций, не типичных для данной рудной формации и даже чуждых ей; по нашему мнению, именно они повинны в особой сложности состава многих минеральных месторождений, относимых к гибридным субформациям.

Как мы убедились на многих примерах, чуждые ассоциации не имеют своего постоянного места в возрастных рядах типичных сообществ минералов: в одних месторождениях они появляются в самые ранние стадии, в других — в поздние или в периоды между формированием обычных ассоциаций. Возрастные «вилки» иногда фиксируются своеобразными пересечениями жил и прожилков, сложенных типичными и чуждыми рудными минералами.

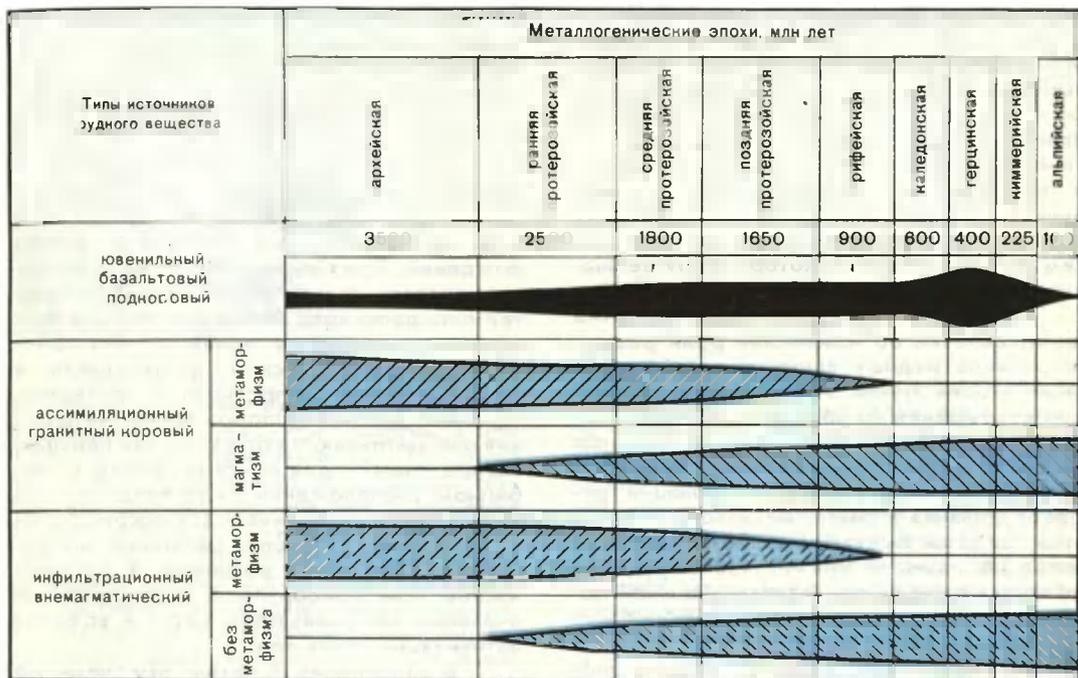
При минералогическом картировании оконтуриваются в известной мере независимые ореолы распространения минеральных ассоциаций, типичных для данной (основной) формации и чуждых ей, причем последние нередко оказываются сосредоточенными в обособленных участках, образуя собственные рудопроявления и месторождения со своими комплексами минеральных парагенезисов. Примерами могут служить изучавшиеся нами поля золотой и молибденовой минерализации в Забайкалье и Узбекистане, рудный пояс Енисейского края и ряд других областей. Во всех случаях было установлено, что минералы типичных и чуждых ассоциаций в месторождениях различаются по своим типоморфным особенностям (составу примесей, индивидов и агрегатов и т. п.).

Использование методов изотопной геохимии дало новые доказательства поступления металлов из разных источников. Показателен пример золоторудных месторождений района Миссури — Миссисипи в США, названных А. П. Тугариновым «двухисточниковыми». Установлено также, что некоторые месторождения несут следы поступления вещества не в одну, а в несколько разобщенных эпох рудогенеза. Такие месторождения, именуемые «полихронными», не столь многочисленны.

<sup>12</sup> Петроаская Н. В. — Зап. Всес. минералог. об-ва, 1956, ч. 85, № 3, с. 321.

В последние годы появились новые доказательства участия в рудообразовании вод разного происхождения, местами смешивавшихся. Например, при формировании молибденового месторождения Клаймакс в США соотношения магматогенных и метеорных (поверхностных) вод колебались от 2:1 до 1:2. Этот и подобные ему примеры подтверждают предположение о практически неизбежном разбавлении глубинных металлогенных растворов поверхностными водами и растворами. Наиболее убедительны в этом плане результаты

и вулканогенных пород, металлы (Au, Ag, Cu, Pb, Zn) извлекались водными растворами из более ранних залежей медно-цинковых сульфидных руд, а сами воды имели метеорное происхождение<sup>13</sup>. По-видимому, множественность источников вещества сказалась и в сложном характере такого гигантского рудного пояса, как Витватерсранд в Южной Африке. Простираясь на многие десятки километров в древних толщах осадочных пород, этот пояс сосредоточил в себе разнородную сульфидную, золотую и урановую минерали-



Эволюция источников эндогенного рудообразования в истории развития земной коры (по В. И. Смирнову, 1976).

изучения изотопного состава кислорода газовой-жидких включений в минералах.

В свете идеи полигенности источников рудного вещества, по убеждению авторов весьма плодотворной, постепенно пересматриваются представления о генезисе многих крупных месторождений. Так, исследователи широко известного по литературе пояса золоторудных жил Мозер-Люд в США в последние годы приходят к выводу о совокупной деятельности разных источников; по их заключению, кремнезем выщелачивался из окружающих осадочных

заций, вкрапленность арсенидов кобальта, углеродистые вещества. Генезис таких золото-урановых руд является предметом многолетних дискуссий; руды рассматриваются то как продукты переотложения вещества более древних россыпей, то как результат привноса урана и других рудогенных элементов глубинными, возможно мантийными, флюидами<sup>14</sup>.

Явления гибридности, как мы полагаем, определили широкое развитие свинцово-цинковой минерализации в ряде золоторудных и сурьмяно-ртутных рудных по-

<sup>13</sup> Smith Roscoe M.— Calif., 1981, v. 34, № 5, p. 99.

<sup>14</sup> Sullivan C. J. — CIM Bull., 1979, v. 72, № 812, p. 75.

лей; с ними же, по-видимому, связаны аномально высокие содержания золота в рудах молибдена, олова, сурьмы и т. п. Даже в месторождениях, лишенных четких признаков чуждой минерализации, нередко обнаруживаются сочетания типично коровых и типично мантийных элементов, что может рассматриваться как проявление полигенности руд.

### О ПЕРСПЕКТИВАХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В пестром переплетении различных гипотез, в непрекращающихся дискуссиях об их значении главенствующую роль приобретает концепция, признающая существование разных по своей природе источников рудного вещества. Начинает вырисовываться сложная картина крупных систем источников, активность отдельных членов которых менялась в течение геологического времени и была неодинаковой в пространстве. На современном уровне знаний освещены лишь отдельные фрагменты этой грандиозной картины, вместе с тем уже намечаются некоторые пути ее анализа.

Весьма важно дальнейшее развитие представлений об изменении роли разных источников рудных веществ в геологической истории Земли. Уже выявлены тенденции возрастания во времени многообразия источников, повышения роли их сложных систем. Анализ этих тенденций позволит определить направленность эволюции рудообразования в смене металлогенических эпох. Задачей будущего остается исследование зависимости типа источников рудного вещества от толщины и состава земной коры, истории формирования ее отдельных мегаблоков.

Особый интерес вызывают причинно-следственные связи между типом рудогенерирующих источников и формационной принадлежностью связанных с ними месторождений, особенностями их состава и содержания ценных металлов в рудах. При разработке этой проблемы необходим углубленный анализ особенностей руд, свидетельствующих о повторных перегруппировках и перемещениях минеральных веществ, т. е. о ступенчатом процессе накопления металлов, о возможном наличии промежуточных коллекторов. Выяснение таких вопросов позволит глубже понять закономерности пространственного размещения разнотипных месторождений, повторяющихся в разных регионах. Тем самым могут быть получены новые данные для выделения генетических групп месторождений и их систематики.

Продолжающиеся дискуссии о значении глубинных — ювенильных — и поверхностных вод при транспортировке металлов свидетельствуют о том, что мы еще плохо умеем распознавать продукты их деятельности. Поиски таких признаков продолжаются. Перспективным в этом плане является путь дальнейшего развития изотопной геохимии, пополнение арсенала изотопных индикаторов природы растворов, в том числе по результатам изучения газовой-жидких включений в минералах. Необходимы новые доказательства участия в образовании руд потоков глубинного тепла и местных источников тепловой энергии. В этой связи представляют интерес исследования неоднородного теплового режима планеты, ее «горячих точек».

Разработка представлений о типах источников металлов и металллоносных эманаций важна не только для дальнейшего развития современной теории рудообразования, но и для совершенствования методов прогноза рудных районов и месторождений. Признание в качестве источников рудогенного вещества магматических тел определенного возраста и состава позволяет использовать признаки соответствующей магматической деятельности в качестве основных прогнозных критериев. ореолы измененных пород вблизи интрузивов рассматриваются при этом как перспективные участки для поисков. Вывод о глубинном расположении рудогенерирующих сфер служит основанием для сосредоточения поисков в пределах региональных зон развития глубинных разломов, а магматические тела приобретают второстепенное значение как показатели места и времени активизации таких зон.

В дополнение отметим, что следы одновременной деятельности разнотипных источников металлов должны рассматриваться как признаки вероятного распространения сложных полиметаллических руд комплексной ценности, причем масштабы таких месторождений могут быть значительными.

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

ИСТОЧНИКИ РУДНОГО ВЕЩЕСТВА ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. М.: Наука, 1976.

ПРИРОДА РАСТВОРОВ И ИСТОЧНИКИ РУДОБРАЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ЭНДОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. Новосибирск: Наука, 1979.

Смирнов В. И. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТМАГМАТИЧЕСКОГО РУДОБРАЗОВАНИЯ. — Геология рудных месторождений, 1981, № 1.

## Отношения «хищник — жертва» в зоопланктонном сообществе

А. М. Гиляров



Алексей Меркурьевич Гиляров, кандидат биологических наук, зоолог, старший научный сотрудник кафедры общей экологии и гидробиологии биологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается изучением планктона пресных вод, а также общеэкологическими вопросами.

Повышенное внимание к взаимодействиям организмов характерно для многих разделов современной экологии, в том числе и для гидробиологии. Недавние наблюдения гидробиологов свидетельствуют, что именно биотические отношения (и прежде всего хищничество и конкуренция) часто определяют видовой состав сообществ водных организмов, соотношение численностей входящих в них популяций, их пространственное распределение и динамику. Целый ряд интересных закономерностей, касающихся воздействия хищников на целое сообщество, а также совместной эволюции хищников и жертв, был выяснен недавно на примере пресноводного зоопланктона. Рассказать хотя бы о некоторых из этих закономерностей мы и попытаемся.

В составе зоопланктона пресных водоемов обычно преобладают «мирные» виды ракообразных (главным образом из отрядов ветвистоусых и веслоногих), колероваток и простейших, пищей которым служат мелкие водоросли, бактерии и частицы взвешенного органического вещества, — так называемый детрит. Однако среди планктонных животных есть и

настоящие хищники, активно нападающие на «мирных» представителей зоопланктона, зачастую и на своих не очень далеких родственников. Кроме того, и мирные и хищные жители зоопланктона могут стать добычей рыб, земноводных и некоторых других позвоночных животных. Таким образом, планктонным животным угрожают хищники двух типов: во-первых, позвоночные, которые по своим размерам значительно превосходят своих жертв (иногда на много порядков), во-вторых, различные беспозвоночные (главным образом ракообразные и насекомые), чьи размеры обычно лишь немногим больше размеров их жертв.

Такое существенное различие в соотношении размеров жертв и хищников (позвоночных и беспозвоночных) и определяет характер зависимости частоты выбора жертв от их размера: позвоночные предпочитают самых крупных планктонных животных, а беспозвоночные — мелких или среднего размера. Способы защиты планктонных животных от этих двух типов хищников также различны. Целесообразнее поэтому сначала по отдельности рассмотреть взаимоотношения позвоночных и беспозвоночных хищников и их жертв, а потом уже перейти к их комбинированному взаимодействию.

## ПОЗВОНОЧНЫЕ ХИЩНИКИ ПЛАНКТОФАГИ

К позвоночным хищникам, активно питающимся пресноводными планктонными животными, относятся рыбы, земноводные (саламандры) и даже птицы (кулики плавунчики). Безусловно, наиболее велико значение рыб, среди которых есть настоящие специализированные планктофаги, например ряпушка, омуль, пелядь, корюшка и др. Зоопланктон охотно поедают и многие другие рыбы, например даже та-

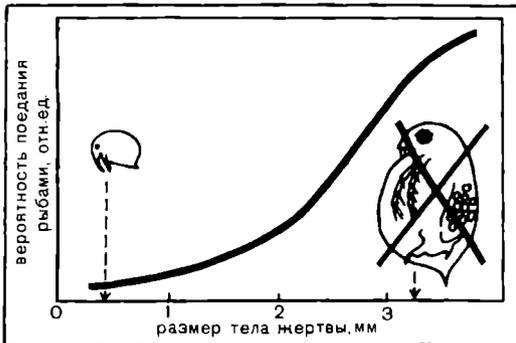


График предпочитаемости жертв в зависимости от их размера для позвоночных хищников (главным образом, рыб). Слева изображен мелкий рачок босмина, не представляющий интереса для рыб и потому часто достигающий высокой численности в рыбных прудах. Справа — крупная дафния, активно уничтожаемая рыбами и неспособная существовать в тех водоемах, где пресс рыб на зоопланктон велик.

кой типичный хищник, как окунь, а на стадии личинки зоопланктоном питаются почти все виды рыб.

Длительные наблюдения зоологов говорят, что рыбы всегда поедают в первую очередь самых крупных планктонных животных. Только для очень мелких личинок рыб, находящихся на ранних стадиях развития, максимально доступный им размер жертв меньше размера многих представителей зоопланктона. Именно поэтому любителям аквариумных рыб приходится выкармливать выклюнувшихся из икры мальков инфузориями, коловратками или так называемой живой пылью (естественным мелким зоопланктоном, состоящим главным образом из коловраток и науплиусов веслоногих ракообразных). Большинство же подросших рыб питаются самыми крупными планктонными животными, а кривая элективности (предпочитаемости) жертв в зависимости от их размера представляет

собой возрастающую кривую с максимумом, соответствующим наибольшему размеру представителей зоопланктона (3—4 мм)<sup>1</sup>.

На вопрос, почему кривая элективности имеет именно такой вид, можно дать два ответа, взаимно не исключаящих друг друга. Во-первых, потому, что рыбы, как правило, в охоте за зоопланктоном ориентируются зрительно, крупные представители зоопланктона наиболее заметны и видны с большого расстояния. Во-вторых, потому, что крупная жертва выгоднее для хищника в энергетическом отношении, чем мелкая, при условии, конечно, что не очень сильно возрастают затраты на ее добычу.

Если первый ответ касается механизма избирательности, хотя и не исчерпывает его полностью, то второй затрагивает его «биологический смысл». Во-первых, очевидно, что способность рыб по-разному реагировать на размер жертв будет поддерживать естественным отбором постольку, поскольку это способствует их собственной выживаемости и размножению. Во-вторых, рыбам выгоднее использовать более крупные жертвы, что подтверждается и построенной на реальных данных моделью, согласно которой уменьшение среднего размера дафний на 20% при сохранении той же плотности популяции снижает их энергетическую ценность на 68%<sup>2</sup>.

Поскольку маленький размер жертвы энергетически невыгоден для рыб, то само по себе уменьшение габаритов может быть эффективным способом защиты от хищников. Хорошо известно, например, что в рыбных прудах при увеличении плотности посадки рыб возрастает численность мелких форм зоопланктона, прежде всего коловраток и мелких ветвистоусых ракообразных рода *Bosmina*<sup>3</sup>. Интересно, что суммарная биомасса зоопланктона при этом не только не уменьшается, а, наоборот, увеличивается. По-видимому, это связано с интенсификацией регенерации биогенных элементов (и в первую оче-

<sup>1</sup> Количественная оценка элективности питания рыб и ее зависимость от различных факторов, в том числе от размера жертв, была впервые подробно исследована советским зоологом В. С. Ивлевым (Экспериментальная экология питания рыб. М., 1955).

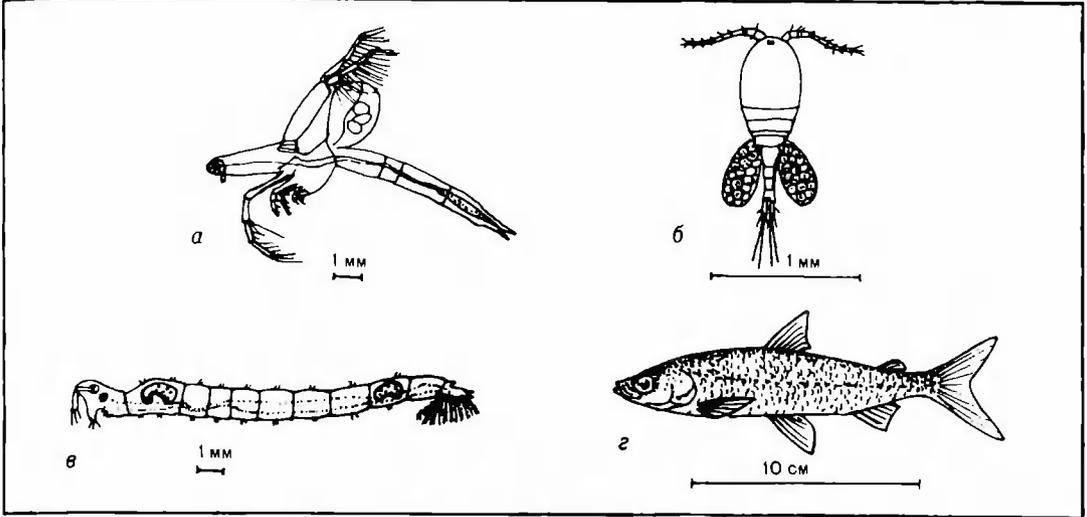
<sup>2</sup> Confer J. L., Blades P. I.— *Limnol. Oceanogr.*, 1975, v. 20, № 4, p. 571.

<sup>3</sup> Hrbáček J.— *Rozpr. Česk. Akad. Ved, Řada Mat. Přír. Ved*, 1962, v. 72, № 10, p. 116; К а м л ю к Л. В., Л я х н о в и ч В. П.— *Ж. общ. биол.*, 1977, т. 38, № 2, с. 277.

редь, фосфора), лимитирующей развитие фитопланктона — основной пищи планктонных ракообразных. В данном случае уменьшение среднего размера особой зоопланктона при сильном прессе рыб происходит достаточно быстро и связано с перестройкой структуры сообщества. По-видимому, ничто не мешает проявляться подобному эффекту и в процессе эволюции отдельных видов, так как пресс хищников будет способствовать тем генотипам в популяции жертв, которым свойственно более раннее размножение, или, точнее, достижение

(пелагической) части озер, где почти всегда есть рыбы, преобладают, как правило, мелкие виды (*Daphnia cucullata*, *Diaphanosoma brachyurum* и др.). Обследование зоопланктона многих озер в северной Швеции показало, что крупные ракообразные *Daphnia longispina* s. str. и *Heterosore saliens* встречаются только там, где нет питающихся планктоном сигов и гольцов.

Во-вторых, некоторые крупные планктонные животные, обитающие в пелагической части озер, обладают морфоло-



Некоторые типичные хищники планктофаги пресных вод: а — ветвистоусый рачок лептодора (*Leptodora kindtii*); б — веслоногий рачок — представитель подотряда циклопов (*Cyclops* sp.); в — личинка некровососущего комара хаборуса (*Chaoborus* sp.), или «коретра» [в передней и задней части туловища личинки видны воздушные мешки, благодаря которым эти подстерегающие хищники способны неподвижно «зависать» на определенной глубине]; г — ярушка (*Coregonus albula*) — представитель семейства сиговых, среди которых много типичных планктофагов.

половозрелости при меньшем размере тела.

Вполне возможно, что верхний предел размеров представителей зоопланктона лимитирует именно пресс рыб. В пользу этого свидетельствует следующая группа факторов.

Во-первых, большинство крупных видов планктонных ракообразных встречаются в таких местообитаниях, где рыб нет: в лужах, небольших прудах или среди густых зарослей водной растительности (например, ветвистоусые — *Daphnia magna*, *Daphnia pulex*, *Sida crystallina*). В открытой

гическими или еще чаще поведенческими приспособлениями, позволяющими им сосуществовать с рыбами. Так, одни виды отличаются крайней незаметностью, имеют прозрачное, непигментированное тело, например крупный представитель ветвистоусых, хищная *Leptodora kindtii*. Другие виды сохраняют такое пространственное распределение, которое позволяет им избежать встреч со своими врагами. Этот последний способ защиты от хищников очень распространен и может быть проиллюстрирован многими примерами<sup>4</sup>. Так, наиболее крупные представители зоопланктона Глубокого озера (Московская обл.) *Cyclops strenuus* и *Daphnia hyalina* всегда держатся на довольно большой глубине и не поднимаются в поверхностные слои, где они могли бы стать жертвами рыб. Обитающие в том же озере крупные личинки некровососущих комаров хабору-

<sup>4</sup> Для морского зоопланктона это четко показано Б. П. Мантейфелем (Тр. Ин-та морфол. животн., 1959, вып. 13, с. 62).

сов (*Chaoborus*), известные также под названием «коретра», совершают вертикальные миграции, поднимаясь в ночное время к поверхности, где они находят обильную пищу, и опускаясь на дневные часы в придонные слои, где им не угрожают рыбы<sup>5</sup>. Другой пример: во многих озерах Швеции встречаются личинки двух видов хаоборусов: *Ch. flavicans* и *Ch. obscuripes*, однако личинки последнего вида, не способные к вертикальным миграциям, живут только в тех водоемах, где нет рыб. Вертикальные миграции свойственны и самому массовому планктонному рачку Байкала — *Epicshura baicalensis*, который поднимается ночью к поверхности, где интенсивно питается фитопланктоном, но днем опускается на довольно большую глубину, спасаясь таким образом от рыб-планктофагов, в том числе от знаменитого байкальского омуля<sup>6</sup>. Понятно, что реакции планктонных животных на определенную температуру или изменение освещенности имеют ярко выраженный адаптивный характер и выработались в результате длительной эволюции в условиях постоянного пресса рыб.

Однако, несмотря на существующие способы защиты от хищников, некоторые крупные планктонные животные все равно уничтожаются рыбами. Количественное сравнение соотношения разных представителей зоопланктона в составе пищи рыб (анализ содержимого кишечника) и в планктонных пробах, показывает, что доля крупных форм в составе пищи резко увеличена по сравнению с их долей в планктоне. Известен и такой случай, когда крупный планктонный рачок *Bythotrephes longimanus* не был обнаружен при анализе планктонных проб, но присутствовал в кишечнике рыб, пойманных в этих озерах<sup>7</sup>.

### БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ ХИЩНИКИ

Среди хищных беспозвоночных, обитающих в пресных водоемах, можно назвать представителей ракообразных (из отрядов веслоногих, ветвистоусых и мизид), насекомых (личинки двукрылых и стрекоз, хищные лопы), клещей, коловраток и даже простейших (добычей для которых служат также, как правило, простейшие). Хотя общий список видов

беспозвоночных хищников весьма велик, в открытой пелагической части любого озера многочисленными бывают представители не более двух, редко трех, видов. Обычно это кто-нибудь из веслоногих (циклопов или крупных хищных калянид), специализированных хищных ветвистоусых (*Leptodora kindti*, *Bythotrephes* spp.) и уже упоминавшиеся выше личинки некровососущих комаров рода *Chaoborus*.

Известно, что все беспозвоночные хищники предпочитают жертв определенного размера, причем кривая избиратель-

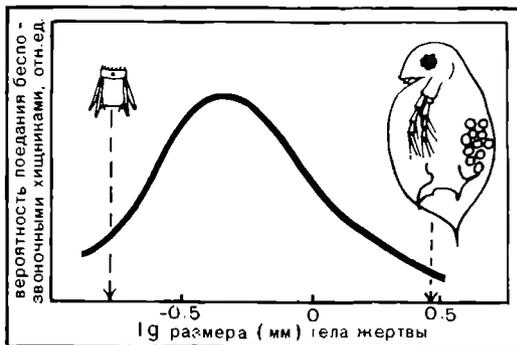


График предпочтительности жертв в зависимости от их размера для беспозвоночных хищников. Слева изображена мелкая коловратка полиартра [*Polyarthra* sp.], а справа — крупная дафния — виды сравнительно слабо уничтожаемые беспозвоночными хищниками. Шкала размера тела жертвы — логарифмическая.

ности имеет вид выпуклой кривой с максимумом, соответствующим некоторому среднему размеру. Конечно, для разных видов хищников абсолютные размеры наиболее предпочитаемых жертв различаются, однако все беспозвоночные хищники избегают крупных жертв, которых они часто просто не могут поймать.

Что касается снижения избирательности при уменьшении размера жертвы ниже некоторого среднего, то оно, по-видимому, связано с энергетической невыгодностью мелких жертв (точно так же, как и в случае рыб, которые предпочитают наиболее крупную доступную им добычу). Подобное объяснение не может быть, однако, исчерпывающим. Детальное изучение питания личинок хаоборуса дафниями разного размера показало, что жертвы среднего размера не только наиболее энергетически выгодны для хищника, но и наиболее уязвимы в том смысле, что хищник достаточно часто с ними сталкивается и вместе с тем достаточно легко может с

<sup>5</sup> Гиляров А. М. — Гидробиол. ж., 1982, т. 18, № 5, с. 26.

<sup>6</sup> Кожов М. М. Биология озера Байкал. М., 1962.

<sup>7</sup> Stenson J. A. E. — *Astarte*, 1978, v. 11, № 1, p. 21.

ними расправиться<sup>1</sup>. Чтобы пояснить, как это происходит, напомним, что личинки хаборуса — подстерегающие хищники: неподвижно «зависнув» на определенной глубине или медленно передвигаясь в вертикальном направлении при помощи своих гидростатических органов, они нападают только на планктонных животных, проплывающих на близком расстоянии. О присутствии своих жертв личинки хаборуса узнают по колебаниям воды, вызванным работой плавательных конечностей, и охота в полной темноте протекает не менее успешно, чем на свету. Поскольку сам хищник находится на одном месте, частота встреч с жертвами определяется их численностью и скоростью передвижения (чем больше скорость жертвы, тем больше вероятность встречи с хищником). А вследствие того, что скорость передвижения более крупных представителей зоопланктона, как правило, выше, они чаще сталкиваются с подстерегающим хищником. Однако чем крупнее добыча, тем труднее личинкам хаборуса удержать ее, и поэтому увеличение скорости движения планктонных животных не представляет для жертв большой опасности, если оно связано с укрупнением размеров тела.

В отличие от личинок хаборуса все другие беспозвоночные хищники активно преследуют свою добычу, но конкретная тактика охоты может быть разной. Циклоп передвигается отдельными прыжками за счет взмахов вторых антенн, а обнаружив свою жертву (например, какого-нибудь ветвистоусого рачка), начинает совершать вокруг нее петли, сопровождающиеся серией стремительных атак, во время которых хищник стремится схватить добычу за конечности и перевернуть ее незащищенной брюшной стороной к себе. В процессе всех этих манипуляций хищник довольно часто теряет свою жертву, тем более что этому способствует и поведение последней. Так, например, мелкий ветвистоусый рачок босмина (*Bosmina*) при нападении циклопа принимает так называемую позу мертвеца, т. е. прекращает всякую активную работу конечностей и медленно опускается вниз (тонет) на некоторое расстояние. Подобное замирание жертвы сбивает с толку хищника, поскольку ему становится очень трудно обнаружить ее. Когда жертва снова приходит в движение, она обычно уже находится вне зоны,

контролируемой сенсорными органами хищника.

Интересно, что циклопы меняют характер своего движения в зависимости от плотности популяции жертв. Если планктонных животных достаточно много, хищники начинают чаще петлять, т. е. менять направление своего движения на диаметрально противоположное, в результате чего дольше задерживаются в районе повышенной плотности жертв и обеспечивают себе более успешную охоту.

Поскольку хищные планктофаги, как правило, лишь немногим крупнее самих жертв, последние могут вырабатывать достаточно эффективные приспособления как в характере поведения (пример которых был приведен выше), так и морфологические, позволяющие им, если и не избежать полностью пресса беспозвоночных хищников, то, во всяком случае, значительно его снизить. Конечно, хищники тоже эволюционируют вместе со своими жертвами и вырабатывают все более совершенные способы и орудия нападения, однако один путь морфологической эволюции для них закрыт — это путь увеличения размеров тела, чреватый опасностью самим стать жертвами хищников следующего уровня — рыб.

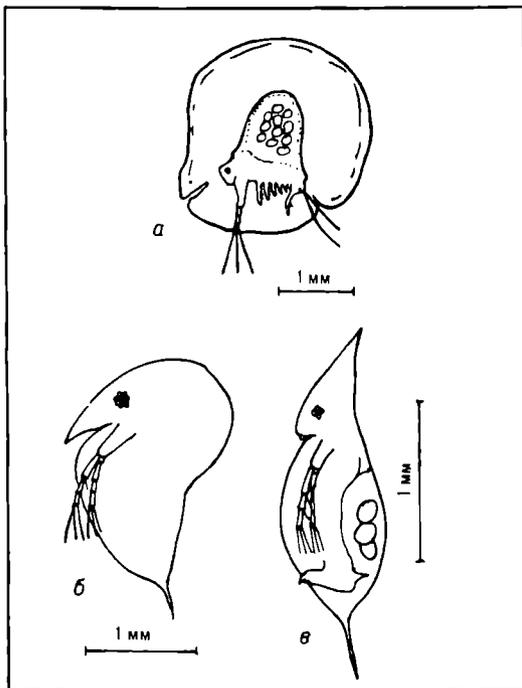
#### КОМБИНИРОВАННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОЗВОНОЧНЫХ И БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ХИЩНИКОВ

Кривая элективности беспозвоночных хищников показывает, что для их жертв было бы выгодно увеличить размеры тела и повысить скорость роста особей, чтобы по возможности быстрее пройти через опасный возраст (или, точнее, опасный размер). Однако, как и в случае самих беспозвоночных хищников, укрупнение их жертв в процессе эволюции ограничено из-за возрастания риска стать привлекательной добычей для рыб. Таким образом, мирные планктонные животные как бы зажаты между хищниками двух типов: с одной стороны, беспозвоночными (от которых можно было бы защититься, став крупнее), и с другой — позвоночными (от которых можно было бы защититься, став мельче). Компромиссным решением могло бы быть увеличение реальных размеров тела жертв (что создавало бы помехи беспозвоночным хищникам) при сохранении возможно меньшей заметности для рыб. Хотя трудно себе представить, что такое решение проблемы защиты от двух типов хищников в принципе возмож-

<sup>1</sup> Pastorok R.— Ecology, 1981, v. 62, № 5, p. 1311; Природа, 1982, № 8, с. 113.

но, оно было найдено в эволюции и проявилось даже в разных конкретных вариантах.

Так, например, у ветвистоусого рачка *Holopedium gibberum*, широко распространенного в северных озерах, все тело, за исключением брюшной стороны, где находятся конечности, окружено толстой студенистой оболочкой, придающей животному своеобразный облик, отдаленно напоминающий лягушачью икринку. О возможных функциях этой оболочки высказывались самые разные предположения, но



Разные морфологические образования защищают планктонных животных от беспозвоночных хищников: а — ветвистоусый рачок *Holopedium gibberum* окружен студенистой оболочкой; б — обитающая в Австралии дафния из комплекса видов *Daphnia carinata-cephalata*, обладает прозрачным выростом (гребнем) на спинной стороне тела; в — обычная в водоемах умеренной зоны *Daphnia cucullata* имеет характерный «шлем» на голове. Все перечисленные образования — прозрачные, и, увеличивая реальные размеры тела, они не делают рачков особенно заметными.

только недавно была доказана ее высокая эффективность как органа защиты от беспозвоночных хищников, в частности крупных веслоногих *Heterosira*, которым трудно схватить и удержать такую добычу. В то же время было показано, что реакция

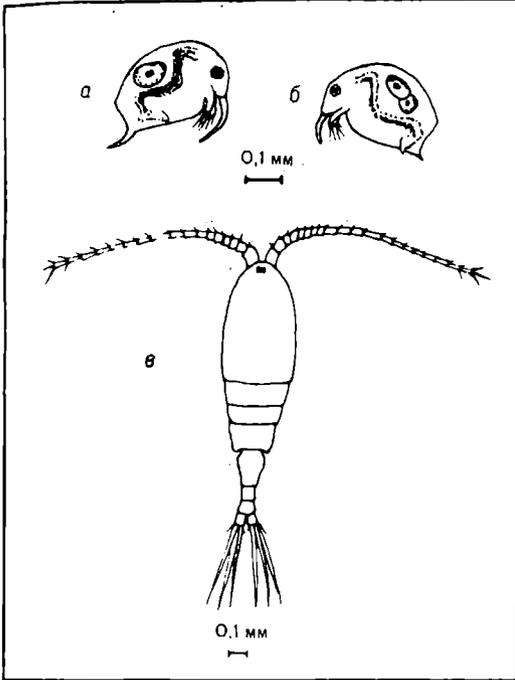
рыб на *Holopedium* определяется исключительно размерами самого рачка (без оболочки) и сходна с реакцией на других представителей зоопланктона, имеющих такой же размер.

Образовавшаяся в процессе эволюции пресноводных планктонных животных студенистая оболочка — явление уникальное. Гораздо более обычны (особенно среди коловраток и ветвистоусых ракообразных) различные шипы и прозрачные выросты панциря, например «шлемы» дафний, которые также создают неудобство беспозвоночным хищникам и почти незаметны для рыб. Характерно, что способность образовывать «шлемы» проявляется как правило только у мелких видов дафний, т. е. наиболее уязвимых для беспозвоночных хищников. Форма и размер выростов у ветвистоусых ракообразных и коловраток часто закономерно меняются в течение сезона. Явление это, известное под названием цикломорфоза, было описано исследователями уже в конце прошлого века. По поводу адаптивной ценности цикломорфоза существовало и существует до сих пор несколько различных гипотез. Наиболее популярной была гипотеза, согласно которой выросты, образующиеся чаще всего в теплые летние месяцы, увеличивают плавучесть в условиях пониженной вязкости воды.

В последние годы, однако, все большую популярность приобретает гипотеза защитной функции цикломорфных образований от беспозвоночных хищников, сформулированная С. Додсоном (США). Поскольку пресс беспозвоночных хищников сильно меняется в течение сезона, меняется и степень защищенности от него популяции жертв. На вопрос, почему некоторые средства защиты от хищников появляются у планктонных животных периодически, а не сохраняются постоянно, можно ответить довольно определенно: потому, что за эти средства нужно расходуется дополнительные траты энергии. Если в пределах одного вида имеются отдельные формы (чаще всего это разные генотипы), отличающиеся своей защищенностью от хищников, те из них, которые защищены наилучшим образом, как правило, имеют пониженную плодовитость, более длительные сроки развития и другие особенности, приводящие в конечном счете к более низкой рождаемости и меньшей скорости популяционного роста.

Очень хорошим примером отмеченных соотношений могут служить две формы ветвистоусого рачка *Bosmina longirostris*

из озера Вашингтон, подробно изученные американским исследователем Ч. Керфутом. Внешне эти формы различаются только тем, что у одной из них более длинный шип на заднем конце панциря (так называемое мукро) и более длинные первые антенны. Для удобства будем условно называть их «длиннохвостой» и «короткохвостой», хотя, строго говоря, мукро — это никакой не хвост. Оказалось, что между этими формами существуют не только морфологические, но и экологические различия; в частности, «длиннохвостые» босмины



Две формы ветвистоусого рачка *Bosmina longirostris* из озера Вашингтон. Различия между «длиннохвостой» [а] и «короткохвостой» [б] формами невелики, однако они оказываются существенными для нападающего на них хищника — веслоногого рачка — эпишуры (*Epischura*) — (в).

встречаются в открытой части водоема, а «короткохвостые» — в прибрежной. В открытой части водоема обитает и преследующий босмин хищник — веслоногий рачок эпишура (*Epischura nevadensis*). В отличие от циклопов, эпишура, как и другие каляноиды, передвигается не прыжками, а равномерно, как бы скользя в толще воды за счет работы вторых антенн. Обнаружив босмину при помощи механорецептора, эпишура нападает на нее сверху

сзади и, захватив жертву в своего рода «корзинку», образованную конечностями, стремится перевернуть ее к себе незащищенной брюшной стороной. При этом эпишура часто теряет свою жертву, а та, приняв позу мертвеца, ускользает от хищника.

Как показали специальные опыты, процент потерянных жертв значительно выше среди «длиннохвостых» форм, чем среди «короткохвостых». Однако при отсутствии хищных веслоногих «короткохвостая» форма имеет преимущество по сравнению с «длиннохвостой», так как характеризуется более высокой плодовитостью. У «длиннохвостых» босмин более толстые створки панциря, меньше объем выводковой камеры, но более крупный размер яиц. Естественно возникающее при этом снижение плодовитости Ч. Керфут рассматривает как «плату» за лучшую защищенность от хищника. Распределение этих форм по озеру связано с распределением эпишуры, которая не встречается в прибрежной зоне, поскольку именно здесь обитают рыбы, для которых эпишура излюбленная пища. Дальнейшие исследования показали, что данные формы представляют собой разные генотипы, соотношение которых в популяции (изменяющееся не только в пространстве, но и во времени) определяется степенью воздействия хищника.

Сам механизм смены форм в процессе цикломорфоза может быть различным. Вероятно, в большинстве случаев он происходит за счет смены генотипов. Однако, как недавно было показано, образование у дафний различных выростов панциря, защищающих их от беспозвоночных хищников, может вызываться непосредственно веществами, выделяемыми в воду самими хищниками. Задача будущих исследований — выяснить, насколько подобные явления распространены в природе и как они сочетаются с другими механизмами цикломорфоза.

В этой небольшой статье упомянуты только некоторые стороны отношений «хищник — жертва», существующих в зоопланктонном сообществе. Широкое изучение взаимоотношений хищника и жертвы в планктонных сообществах началось фактически недавно, но, судя по тому, сколь часто появляются в самые последние годы и даже месяцы работы, описывающие новые, неизвестные доселе стороны этих взаимоотношений, можно предположить, что данная область исследований сулит еще много интересных и неожиданных открытий.

## Стоковые ветры Антарктиды

И. И. Цигельницкий



Игорь Ильич Цигельницкий, кандидат географических наук, младший научный сотрудник Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Занимается изучением климата полярных областей. Участник многих сухопутных, морских и воздушных экспедиций в Арктику и Антарктику. Почетный полярник.

Началом регулярных исследований климата Антарктиды стал Международный геофизический год (1956—1957), 25-летие которого отмечают исследователи природы полярных областей Земли<sup>1</sup>. Можно считать, что мы уже имеем общее представление о многих характерных чертах климата ледового континента. Одна из них — так называемые стоковые ветры, механизм действия которых уточняется в последние годы.

Под словом «сток» обычно понимают процесс стекания вод в реки, моря и понижения рельефа. Однако этим термином пользуются и метеорологи, называя стоковым ветром поток воздуха, движущийся под действием силы тяжести по достаточно пологому склону. К стоковым относят и ледниковые ветры.

Как известно, Антарктида — самый большой в мире ледник. Его площадь составляет без малого 14 млн. км<sup>2</sup>. На большей части своей поверхности антарктический ледниковый щит понижается от центра к побережью. Поэтому неудивительно, что именно в Антарктиде стоковые ветры достигают невиданной силы и охватывают огромную территорию. Когда известный авст-

ралийский полярный исследователь Д. Моусон, побывав в 1911 г. в районе Земли Адели в Восточной Антарктиде, сообщил, что скорость ветра на мысе Денисон достигает 200 км/час (50 м/с), эта цифра была воспринята метеорологами с недоверием. Таких скоростей ветра еще нигде на Земле не было зарегистрировано. Однако спустя 35 лет французская экспедиция, лагерь которой был расположен в 65 км от мыса Денисон, в Порт Мартине, подтвердила существование таких ветров в районе Земли Адели. Так, на шестом материке, наряду с Южным географическим и Южным магнитным полюсами, был обнаружен еще один полюс — полюс ветров. В районе Земли Адели ледниковое плато круто опускается к побережью. На расстоянии 300 км от берега высота ледника уже достигает 2,5 тыс. м.

После проведения в 50-х и 60-х годах крупных международных программ по изучению природы Антарктиды, уже упоминавшегося Международного геофизического года и последовавшего за ним Международного года спокойного Солнца, когда была расширена сеть постоянно действующих метеорологических станций и получены разнообразные сведения о рельефе и климате материка, специалисты пришли к выводу, что происхождение ураганных ветров связано не только с характе-

<sup>1</sup> Этот юбилей совпадает с двумя другими: 100-летием Первого и 50-летием Второго полярного международного года.

ром рельефа, но и с особенностями термического режима.

Антарктида — единственный материк, который занимает циркумполярное положение, т. е. расположен вокруг полюса. В его центральной части, находящейся на высоте 3,5 тыс. м над ур. м., температура воздуха у поверхности гораздо ниже, чем в северной полярной области. Если средняя температура самого холодного месяца — февраля — в районе Северного полюса минус  $35^{\circ}\text{C}$ , то в районе Южного полюса в августе она составляет минус

ковый ветер) служит разность атмосферного давления между начальной и конечной точками на пути движения воздушного потока. Эту величину называют горизонтальным градиентом давления на склоне. Она зависит от двух факторов: крутизны склона и силы, или интенсивности, приземной инверсии температуры воздуха. Инверсия — это характерное для полярных областей повышение температуры с высотой, когда нижние слои воздуха, прилегающие к поверхности ледника, самые холодные. В Антарктиде оба этих фактора — кру-

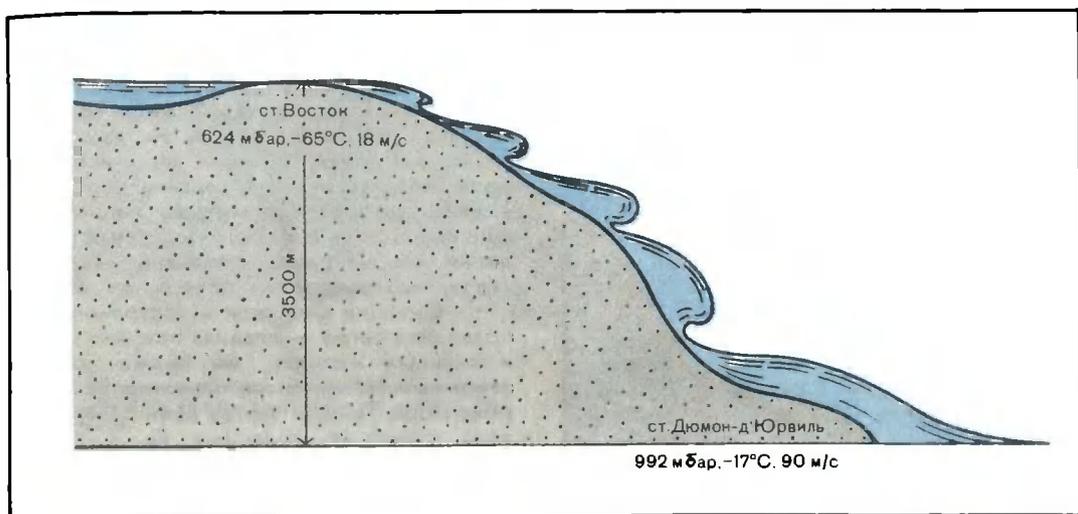


Схема возможного механизма действия стокового ветра.

$72^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры (минус  $88^{\circ}\text{C}$ ) был зарегистрирован на внутриконтинентальной станции Восток в августе 1960 г.

При таких низких температурах плотность воздуха увеличивается по сравнению с обычной в 1,5—2 раза. Достаточно небольшого наклона местности, чтобы такой тяжелый воздух потек по склону, постепенно набирая скорость.

Всю поверхность антарктического ледникового щита можно условно разделить на две области: крутой склон с побережьем, где на отдельных участках наклон достигает  $15^{\circ}$ , и внутренняя часть, на обширной территории которой наклон становится гораздо меньшим, нигде не превышая  $1—2^{\circ}$ .

Наряду с наклоном местности движущей силой стока (так принято называть сто-

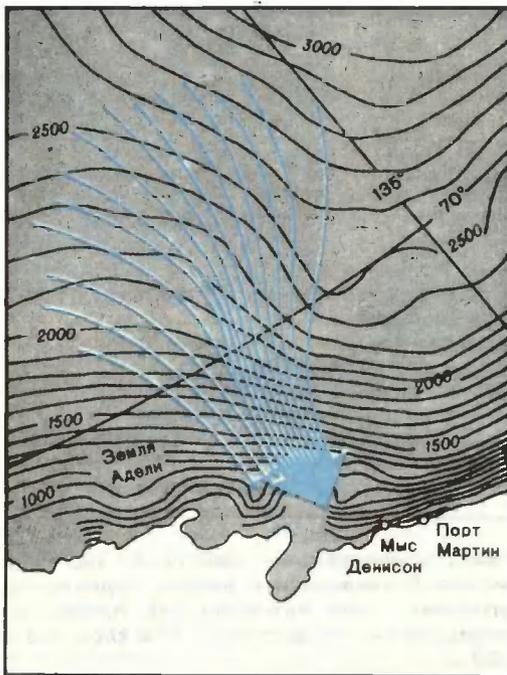
тизна и инверсия — действуют одновременно. С увеличением высоты ледника над уровнем моря интенсивность приземной инверсии растет, достигая  $35^{\circ}$  в слое около 500 м.

Стоковые ветры вместе с низкими температурами делают климат Антарктиды самым суровым на Земле<sup>2</sup>. По данным Н. В. Колосовой, на склоне ледникового щита Антарктиды в течение восьми зимних месяцев, с марта по октябрь, суровость достигает 8 баллов, а в некоторые дни достигает до 12. Заметим, что в северной полярной области, даже в известном всем суровостью климата Оймяконе, ее величина не превышает 3 баллов. В отдельные моменты, когда при порывах скорость ветра

<sup>2</sup> Комплексная характеристика суровости климата измеряется в баллах и рассчитывается по формуле, в которую входит скорость ветра, температура воздуха и эмпирические коэффициенты.

достигает 70 м/с, суровость на антарктическом побережье увеличивается до 35 баллов. Тогда-то и возникают обжигающие холодом ураганные ветры — основная черта климата ледникового склона и побережья.

Вблизи побережья стоковые ветры переходят в циклонические. В это время скорость еще больше усиливается, и на некоторых участках побережья возникает фоновый эффект — повышение температуры и резкое понижение влажности. По данным известного антарктического клима-



Направление потоков стоковых ветров в приземном слое Восточной Антарктиды. Радиационное выхолаживание и условия рельефа способствуют образованию канала, по которому сток устремляется на побережье, образуя полюс ветров в районе Земли Адели.

 Направление стокового ветра

 Высота над ур. моря, м

толога Н. П. Русина, температура повышается в среднем на 5°, а относительная влажность уменьшается на 25%. В отдельных случаях за несколько минут влажность может уменьшиться в 2—3 раза, достигая 10%. Зимой относительная влажность в Антарктиде составляет 60—75%, что при-

мерно на 20% ниже, чем в Арктике. Недостаток влаги в Антарктиде особенно остро ощущается людьми в первые недели после прибытия — в период адаптации. В это время полярники часто жалуются на постоянную сухость во рту и жажду.

Благодаря исключительной сухости воздуха, количество облаков над антарктическим побережьем в зимний период в среднем на 2 балла ниже, чем на тех же широтах в Арктике и колеблется от 5,5 до 6,5 баллов<sup>3</sup>. Во время действия циклона, когда надвигающийся с материк теплый морской воздух сталкивается с бешено мчащимся по склону холодным стоковым ветром, на границе воздушных масс воздух устремляется вверх и возникают мощные вертикальные массивы облаков, высокие снежные буруны и смерчи. На австралийской станции Моусон очень часто наблюдаются снежные вихри с вертикальной осью и диаметром до ста метров, напоминающие вихри пыльной бури. Подобные же явления неоднократно отмечали моряки с судов, находившихся далеко от берега.

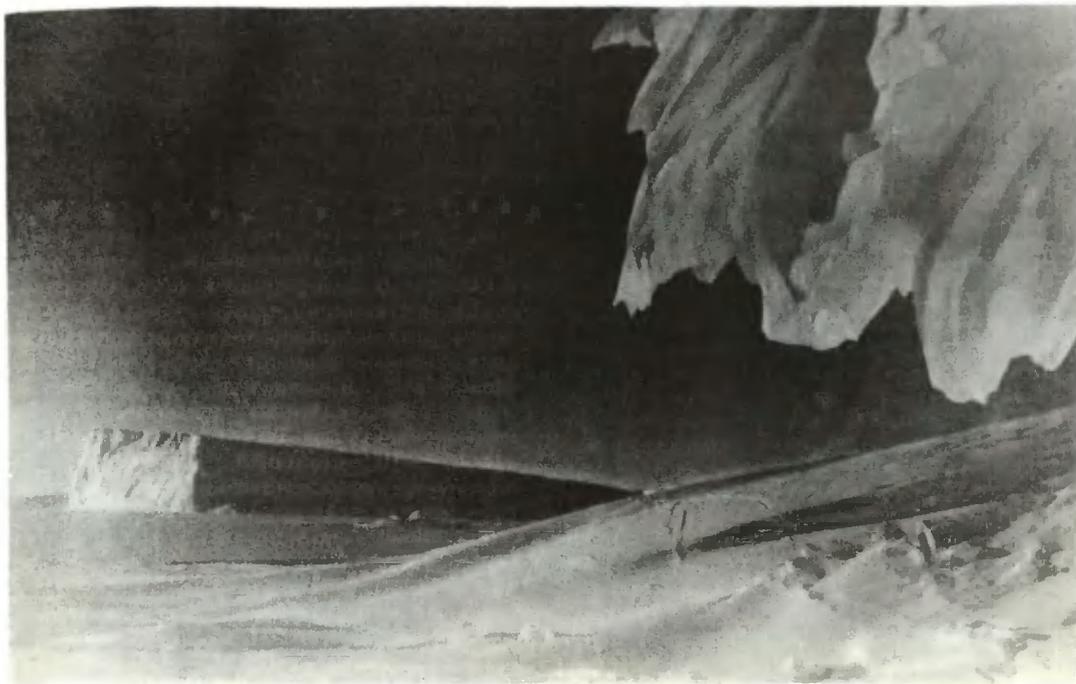
Большие скорости и постоянство направления ветра — главная причина частых и сильных метелей, во время которых огромные массы снега переносятся в сторону моря. По количеству дней с метелями зона стока не сравнима ни с какими другими районами земного шара. В зимние месяцы число дней с метелями достигает в зоне стока 25, а в отдельных районах материка метели наблюдаются ежедневно.

Станция Пионерская, построенная в 1957 г. на склоне ледникового купола, в первый же год была засыпана многометровой толщей снега.

Горизонтальный перенос снега в Антарктиде начинается, когда скорость ветра на высоте 5 м над поверхностью достигает 6 м/с. Этой силы оказывается достаточно, чтобы сдвинуть снежные частицы с места и понести их вдоль склона. Если учесть, что общая продолжительность метелей составляет в Мирном около 200 дней в году, то, по данным Н. П. Русина, через каждый километр береговой линии за счет выноса снега с купола переносится около 5 млн тонн воды. На Земле Адели, где расположен полюс ветров, горизонтальный перенос снега в шесть раз больше, чем в Мирном.

Общая протяженность береговой полосы материка составляет примерно

<sup>3</sup> По 10-балльной системе.



Один из снежных «карнизов», украшающих ледяной барьер в районе Мирного, — результат работы стокового ветра.

Здесь и далее фото автора

31 тыс. км, и не менее половины ее подвержено влиянию стоковых ветров. Если считать, что величина горизонтального переноса снега в Мирном характерна для всего побережья, то получается, что за один год с материка выносятся стоковым ветром 87 млрд тонн воды. Подсчеты эти, конечно, приблизительны, но ясно одно — сток играет огромную роль в формировании баланса ледникового вещества Антарктиды.

Сток — великолепный строитель и архитектор. Он создает бесконечные гряды снежных застругов и барханов, напоминающих застывшие волны, причудливые снежные козырьки и карнизы, окаймляющие ледяной барьер вдоль побережья, тонкое каменное кружево и отполированные до зеркального блеска гранитные плиты. Одинаковое направление гряд застругов, хорошо видное на аэрофотоснимках, позволило американским исследователям К. Магелу и Г. Миллеру построить карту распределения воздушных потоков в приземном слое воздуха. Ветровая эрозия осо-

бенно велика там, где наблюдаются постоянные стоковые ветры.

Благодаря постоянству направления, большим скоростям и огромному количеству переносимых снежных частиц, стоковый ветер способствует накоплению статического электричества. От бесчисленных соударений сухих снежных частиц со стенами домов, оттяжками и мачтами радиоприемных антенн в эфире во время действия стока возникают дополнительные радиопомехи. Все металлические предметы в домах, стоящих на пути стока, за ночь накапливают электрический заряд. Если эти предметы не заземлены, прикосновение к ним вызывает весьма ощутимый удар, сопровождающийся голубоватой вспышкой и треском. Как показывают измерения, во всех антарктических постройках в зоне стока электрический потенциал выше среднего уровня и его долговременное воздействие на человеческий организм еще предстоит изучить.

Не только направление, но время действия стокового ветра обнаруживает удивительное постоянство. Обычно стоковый ветер начинается к вечеру, достигает максимума ночью и после восхода солнца постепенно затихает. Под влиянием солнечного тепла поверхность ледника нагревается сильнее, чем прилегающий к ней слой



«Измеденный» ветром обломок скалы на о-ве Хасуэлл.

воздуха, и тогда над склоном возникает воздушный поток, направленный в противоположную сторону — вверх по склону. Поэтому днем стоковый ветер зимой несколько ослабевает, а весной и летом вообще прекращается и сменяется слабым ветром, дующим в глубь материка.

Наряду с постоянством направления и времени действия для стокового ветра характерна большая порывистость. Скорость его то снижается до нуля, то почти мгновенно возрастает до ураганной силы.

Начало действия стокового ветра всегда можно определить по характеру записи температуры и влажности воздуха на лентах самопишущих приборов. На ровных, спокойных линиях, вычерчиваемых пером самописца, внезапно появляются резкие крутые изломы.

Существует точка зрения, согласно которой стоковый ветер затухает, когда иссякает запас тяжелого холодного воздуха в глубинных районах материка, и возобновляется снова, когда накопится новая его критическая масса. Тогда стоковый ветер образуется по схеме, показанной на одном из наших рисунков. Волны холод-

ного воздуха обрушиваются на побережье. Возможно, именно волновой структурой воздушного потока и объясняется большая порывистость стокового ветра.

Наряду с короткопериодными наблюдаются и более длительные колебания скорости стоковых ветров.

Недавно выполненные Э. Н. Бурманом расчеты спектральной структуры среднесуточных скоростей ветра на стоковых станциях показали, что скорость ветра и атмосферное давление меняются через 2,5, 5 и 13 суток.

Изучая механизм действия стока, Л. В. Долганов получил эмпирическое выражение для скорости ветра внизу склона, согласно которому она равна:

$$v \approx 2\sqrt{x \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} \cdot g \cdot \sin \alpha},$$

где  $x$  — длина склона,  $\Delta\rho/\rho$  — отношение прироста плотности к средней плотности, отражающее радиационное выхолаживание воздуха,  $g$  — сила тяжести и  $\alpha$  — угол наклона местности.

Расчеты, произведенные по данным станции Пионерская, расположенной на склоне купола ледника, в зоне возникновения стока, и на станции Мирный, где сток достигает максимальной силы, добравшись до побережья, показали, что в Мирном скорость должна быть в полтора раза боль-

ше, чем на Пионерской. Сопоставление расчетных скоростей с фактическими показало, что они очень близки по величине.

Американскому исследователю Т. Паришу недавно удалось создать математическую модель стока. Основными параметрами, входящими в уравнения, описывающие сток, послужили: горизонтальный градиент атмосферного давления, толщина слоя приземной инверсии и ее интенсивность и крутизна склона ледникового щита. После обработки на электронно-вычислительной машине стало ясно, что полюю ветров на Земле Адели возник не случайно. Благодаря мощной инверсии температуры и особенностям рельефа, отдельные ветровые «ручейки» собираются здесь с большой территории в широкий «канал», по которому усиленная в десятки раз воздушная волна выплескивается на побережье.

Два основных качества стока — сила и постоянство направления — делают его перспективным источником энергии.

Использование любого вида традиционного топлива с учетом стоимости его доставки в Антарктиду будет гораздо менее экономичным, нежели долговременная эксплуатация ветроэнергетических установок. Современные ветроэнергетические установки, рассчитанные на оптимальную скорость ветра 13 м/с, — а именно такой величины достигает среднемесячная скорость ветра на побережье Антарктиды в зимние месяцы — обладают мощностью до 3 МВт.

Энергетические ресурсы ветров на антарктическом побережье намного больше, чем в одном из самых ветренных районов Арктики — Диксоне. Важное значение имеет и то обстоятельство, что зимний период возможного максимального производства электроэнергии ветровыми двигателями совпадает в Антарктиде со временем ее максимального потребления в бытовых целях, в частности для отопления. К этому следует добавить, что при стоковых ветрах практически не наблюдается гололеда и изморозей и поэтому не возникает дополнительных нагрузок на ветровые двигатели, что существенно облегчает их эксплуатацию. Современные ветроэнергетические установки начинают проходить испытания в Антарктиде.

Таким образом, в последние годы накопилось немало новых данных о стоковых ветрах Антарктиды. Однако, если физические причины их возникновения теперь ясны, механизм действия этого уникального феномена природы до конца не изучен.



Отшлифованные стоковым ветром выходы гнейса на о-ве Токарева.

До сих пор нет строгой физической теории, которая объяснила бы процессы, происходящие в нижних слоях атмосферы, а также взаимодействие радиационных и динамических факторов и гравитационных сил во время действия стока. Трудно, например, объяснить, почему приземная инверсия температуры воздуха не разрушается даже при ураганной скорости стока. Неизвестно также, на какой точно высоте от поверхности и на каком расстоянии от берега прекращается его действие. Все эти вопросы еще ждут решения.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

КЛИМАТ ПОЛЯРНЫХ РАЙОНОВ. Пер. с англ. Под. ред. Е. П. Ббрисенкова. Л.: Гидрометеоиздат, 1961.

Колосова Н. В. СТРУКТУРА ПРИЗЕМНОГО ВЕТРА В АНТАРКТИДЕ. Л.: Гидрометеоиздат, 1982.

Русин Н. П. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ И РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ АНТАРКТИДЫ. Л.: Гидрометеоиздат, 1964.

## Гены иммуноглобулинов

Е. В. Сидорова



Екатерина Владимировна Сидорова, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Института эпидемиологии и микробиологии имени Н. Ф. Гамалеи АМН СССР. Занимается изучением клеточных и молекулярных механизмов биосинтеза иммуноглобулинов.

Со времен Л. Пастера и И. И. Мечникова наши представления об иммунитете неразрывно связаны с антителами, или, как их принято называть сейчас, иммуноглобулинами. Эти белки синтезируются в ответ на введение в организм чужеродных агентов, антигенов, и участвуют в их обезвреживании, т. е. выполняют важнейшие защитные функции. Но к иммуноглобулинам же относятся и антитела, вызывающие, напротив, ряд патологических изменений в тканях: ауто-антитела, характерные для эритематозной волчанки; антитела к резус-фактору, вызывающие гемолитическую желтуху у новорожденных, антитела, индуцирующие многочисленные аллергические заболевания, и т. д. Поэтому выяснение механизмов образования антител и направленная регуляция их синтеза — заветная мечта человечества.

Однако помимо этой чисто практической задачи изучение биосинтеза иммуноглобулинов представляет большой теоретический интерес. Дело в том, что иммуноглобулины отличаются от всех других известных белков: сохраняя почти одинаковый план строения, они в то же время поразительно разнообразны по специфичности. Каждое антитело реагирует только с тем антигеном, который вызвал его образование. Существует бесчисленное множество антигенов, способных индуцировать

появление антител. В число антигенов входят и синтезированные искусственно, такие, с которыми организм в своей обычной жизни никогда бы не встретился. Однако, если они попадут в организм, антитела к ним непременно образуются. Это значит, что в организме существует возможность синтеза огромного количества различающихся по специфичности иммуноглобулинов. Действительно, сейчас их число оценивается цифрой в 20 млн.

Пожалуй, самое удивительное в иммуноглобулинах то, что различия в их специфичности обусловлены в общем-то довольно незначительными изменениями в последовательности аминокислот, причем не во всей молекуле, а только в определенном ее участке. Остальная же часть сохраняется при этом в неизменном виде. Такая структура обеспечивает, с одной стороны, распознавание антигенов, а с другой — их обезвреживание и выведение из организма. Соответственно в молекулах иммуноглобулинов различают специфические распознающие участки (активные центры) и эффекторные, ответственные за все остальные свойства и поведение этих молекул (взаимодействие с различными тканями и клетками, проникновение через плаценту и т. д.).

Механизм возникновения различных по специфичности, но сходных по струк-

туре молекул до самого последнего времени был совершенно непонятен, тем более что никаких аналогий ему в природе нет. Сейчас дело, наконец, начало проявляться. Огромную роль в этом сыграло возникновение и стремительное развитие совершенно новой области — изучения структуры и локализации генов, кодирующих иммуноглобулины. Были получены факты, коренным образом изменившие наши представления о строении генома эукариот и принципиально важные не только для иммунологии, но и для молекулярной биологии и всей биологии в целом. Об этих открытиях мы и постараемся рассказать.

### СТРОЕНИЕ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ

Имуноглобулины синтезируются на полирибосомах в клетках лимфоидных тканей, затем попадают в цитоплазму, проходят через аппарат Гольджи и либо включаются в клеточную мембрану, образуя специфические распознающие антиген рецепторы, либо выделяются в кровь в виде гуморальных антител.

Каждая молекула иммуноглобулинов состоит из двух тяжелых (H от англ. heavy) и двух легких (L — light) цепей. H-цепи включают примерно по 450, а L-цепи по 225 аминокислотных остатков. Общий план строения и тех и других цепей одинаков: они состоят из отдельных участков — доменов, имеющих сходную третичную структуру. В легких цепях таких доменов два: N-концевой (со свободной  $\text{NH}_2$ -аминогруппой) и C-концевой (со свободной  $\text{COOH}$ -карбоксильной группой); в тяжелых — по 4—5 доменов, из них один N-концевой и 3—4 (в зависимости от класса иммуноглобулина) C-концевые.

Различают 5 классов H-цепей и, соответственно, 5 классов иммуноглобулинов (IgM, IgG, IgA, IgD и IgE) и два типа L-цепей:  $\lambda$  и  $\kappa$ . В цепях даже одного и того же класса структура N-концевых доменов различается, а C-домены, напротив, устроены одинаково. Поэтому первые принято называть переменными, или V-доменами (от англ. variable), а вторые — константными, или C-доменами (от англ. constant).

В V-доменах и тяжелых и легких цепей имеются, кроме того, области с повышенной изменчивостью, названные гипервариабельными. В этих участках (их по три в каждой цепи) всего по 5—15 аминокислотных остатков, но именно они образуют «стенки» активных центров иммуноглобулинов, т. е. отвечают за распознавание ан-

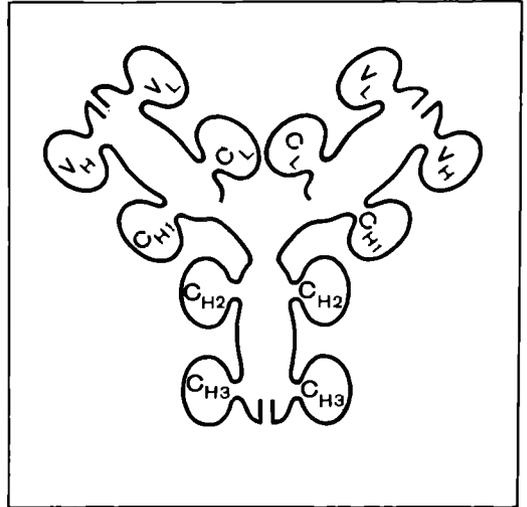


Схема строения иммуноглобулинов. Каждая молекула любого антитела состоит из двух легких — L-цепей (цветной контур) и двух тяжелых — H-цепей. И в L- и в H-цепях есть C-домены, участки с постоянной структурой, и V-домены, аминокислотная последовательность которых меняется даже в пределах одного и того же класса иммуноглобулинов.

тигенов и специфичность антител. Остальные аминокислоты V-домена составляют основу, или каркас. Структура этого каркаса значительно менее изменчива по сравнению с гипервариабельными областями, хотя тоже непостоянна. По чередованию аминокислот в каркасе выделяют около 52 подгрупп легких цепей и 20 подгрупп тяжелых цепей.

### НИСПРОВЕРЖЕНИЕ ОДНОЙ ИЗ ДОГМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ. НОВЫЕ ГИПОТЕЗЫ

Наличие высокой вариабельности V-доменов и в то же время постоянство остальных частей молекул иммуноглобулинов одного и того же класса долгое время не находило удовлетворительного объяснения. Дело в том, что в 60-е годы предположение о механизмах белкового синтеза выражалось формулой: один ген — одна полипептидная цепь, и пока дело не дошло до иммуноглобулинов, казалось неопровержимым. В соответствии с этой догмой все многообразие иммуноглобулинов следовало объяснять наличием такого же множества генов, ответственных за их синтез. Хотя такое объяснение и граничило с абсурдом (в клетке организма должны были

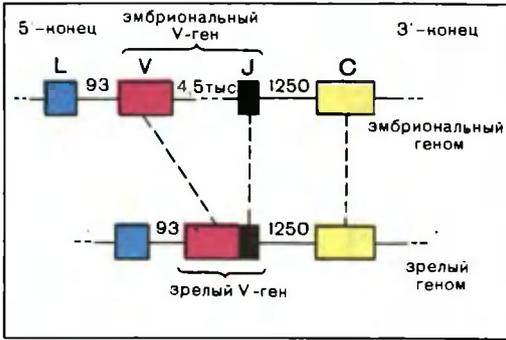


Схема сборки V-гена, кодирующего  $\lambda$ -цепи иммуноглобулинов. В эмбриональном геноме V-ген состоит из нескольких кодирующих участков ДНК — экзонов: L-сегмент кодирует последовательность лидерного пептида в предшественнике легких цепей; V-ген — структуру V-домена с 1-го по 97-й остатки; J-сегмент, небольшой фрагмент ДНК, кодирует остальную аминокислотную последовательность V-домена — с 98-го по 110-й остатки, и C-ген. Все экзоны разделены некодирующими последовательностями ДНК, интронами, разной длины (цифрами обозначено количество пар нуклеотидов в интронах). При созревании генома интрон между V- и J-сегментами «вырезается» и оба экзона выстраиваются в непрерывную последовательность ДНК. Интроны, которые отделяют эмбриональный V-ген от лидерного экзона и C-гена, сохраняются в зрелом геноме.

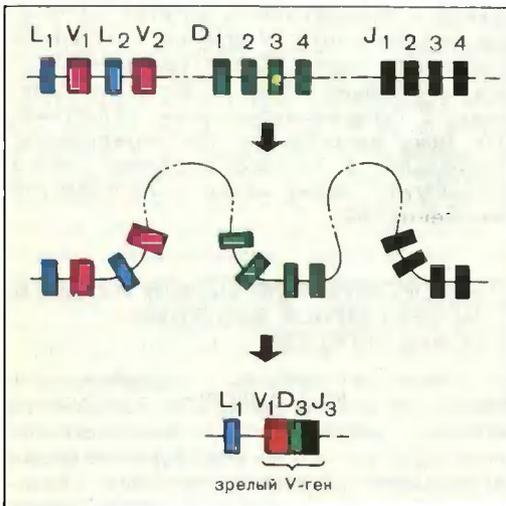


Схема сборки полного V-гена тяжелых цепей иммуноглобулинов. Зрелый V-ген собирается из четырех фрагментов ДНК. Это те же, что и в генах легких цепей L-, V- и J-сегменты и еще одна группа D-сегментов. Из каждой группы сегментов в рекомбинацию вступает только один, а разделяющие их участки ДНК (и интроны, и экзоны) «вырезаются» специальными ферментами. Другие ферменты «сшивают» зародышевые V-, D- и J-сегменты, и образуется полный, зрелый ген, кодирующий вариабельные домены тяжелых цепей иммуноглобулинов.

присутствовать гены иммуноглобулинов, специфичных к соединениям, которых нет в природе), в рамках существовавшего тогда представления трудно было придумать механизм, обеспечивающий высокую изменчивость лишь половины (в L-цепях) или даже четверти или пятой части (в H-цепях) молекулы.

В 1965 г. этот парадокс был разрешен У. Драйером и Дж. Беннетом, предположившими, что каждая полипептидная цепь иммуноглобулина кодируется по меньшей мере двумя V- и C-генами, ответственными за вариабельный и константный домены. Эта гипотеза быстро завоевала признание иммунологов, поскольку объясняла не только структурное многообразие V-доменов при сохранении постоянства C-частков, но и раздельное наследование V- и C-генов. Кстати, хотя этот факт и был установлен к тому времени генетиками, но тоже совершенно не находил объяснения.

Однако, обосновав двойственный характер строения молекул иммуноглобулинов, гипотеза Драйера и Беннета не дала ответа на вопрос о том, чем же обусловлено разнообразие этих антител. По существу просто arose вопрос о причинах разнообразия самих V-генов.

Для его решения были предложены три гипотезы<sup>2</sup>, известные сейчас как «гипотеза зародышевых генов», «гипотеза соматических мутаций» и «гипотеза встраивания». Согласно первой из них, в геноме имеется полный набор V-генов для всех известных и пока не обнаруженных V-доменов, т. е. многие тысячи V-генов; по второй, набор передающихся по наследству V-генов ограничен, а все разнообразие структур возникает за счет перестроек зародышевых V-генов<sup>3</sup> при клеточной дифференцировке. Наконец, по третьей гипотезе, разнообразие иммуноглобулинов возникает за счет встраивания сегментов ДНК, кодирующих гипервариабельные области, в основной каркас и сборки са-

<sup>1</sup> Dreyer W., Bennet J.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1965, v. 54, p. 864.

<sup>2</sup> Сидорова Е. В. Молекулярные механизмы биосинтеза иммуноглобулинов.— В кн.: Иммуногенез и клеточная дифференцировка. М., Наука, 1978.

<sup>3</sup> Kabat E. c. al.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1977, v. 75, p. 2429.

<sup>3</sup> Структура ДНК, кодирующей иммуноглобулины, в эмбриональных и зрелых клетках неодинакова: различают эмбриональную ДНК (ген) и зрелую, или соматическую.

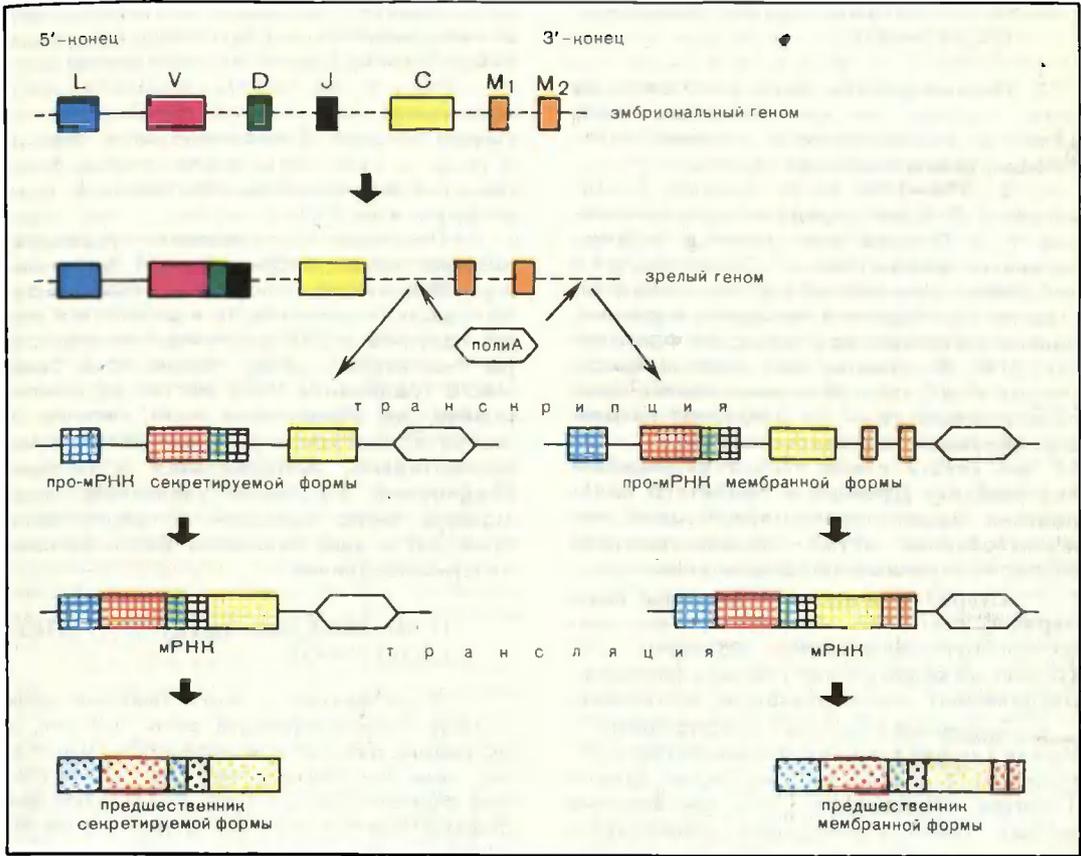


Схема биосинтеза секретируемых и мембранных  $\mu$ -тяжелых цепей иммуноглобулина. В эмбриональном геноме экзоны, кодирующие  $\mu$ -цепи, разделены не транскрибируемыми участками ДНК. Образующийся при созревании клетки полный V-ген сближается с  $C_{\mu}$ -геном, а участки, которые разделяют функциональные экзоны зрелого  $\mu$ -гена, сохраняются. Следующая стадия биосинтеза — транскрипция, перевод наследственной информации с ДНК на РНК. Вначале синтезируется предшественник, про-мРНК, в которой по-прежнему присутствуют участки, не кодирующие никакой последовательности в белке. Если с перестроенной ДНК считывается еще 187 оснований, следующих за  $C_{\mu}$ -геном, и затем присоединяется позадениловая последовательность (полиА), то образуется про-мРНК для секретируемых  $\mu$ -цепей. Если же полиА не успевает присоединиться, считывание идет дальше и образуется про-мРНК для мембранных  $\mu$ -цепей. Такая про-мРНК содержит два дополнительных экзона ( $M_1$  и  $M_2$ ) и два интрона. Следующие стадии биосинтеза идут по общей схеме. Из про-мРНК вырезаются интроны, и образуется цепочка мРНК, последовательность которой транслируется на рибосомах в структуру предшественника тяжелых цепей — мембранных или секретируемых. В заключительной стадии биосинтеза (она не показана на рисунке) от предшественника отщепляется лидерный пептид.

мого V-гена из более мелких сегментов, мини-генов.

Всякая гипотеза нуждается в экспериментальной проверке, поэтому первоочередной задачей являлось определение числа и локализации V- и C-генов в клеточном геноме. Разработка тончайших биохимических иммунологических методов позволила приступить в начале 70-х годов к решению этой задачи.

В 1972—1974 гг. почти одновременно несколько групп исследователей установили, что C-гены уникальны, а позднее было показано, что количество V-генов не превышает нескольких сотен. По существующим сейчас минимальным оценкам, число зародышевых V-генов, кодирующих легкие цепи, равно примерно 300, а тяжелые — 120. Уже из этого ясно, что объяснить разнообразие иммуноглобулинов только за счет зародышевых V-генов нельзя, и существенную роль приходится отводить соматическим мутациям, происходящим в процессе клеточной дифференцировки.

## ГЕНЫ ЛЕГКИХ ЦЕПЕЙ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ

Первые работы были выполнены на генах  $\lambda$ -цепей, так как структура самих цепей, а следовательно и строение кодирующих генов, наиболее просты.

В 1976—1977 гг. Н. Хоцуми, С. Тонегавы и С. Брэк определили расположение V- и C-генов этих цепей в эмбриональном и зрелом геноме<sup>4</sup>. Оказалось, что в эмбриональном геноме эти гены пространственно разобщены и находятся в разных, далеко отстоящих друг от друга фрагментах ДНК. В зрелом же, перестроенном геноме V- и C-гены сближены, однако тоже не слиты вместе — их разделяет нетранскрибируемая последовательность. Так 11 лет спустя после своего возникновения гипотеза Драйера и Беннета о кодировании одной полипептидной цепи иммуноглобулина двумя генами получила экспериментальное подтверждение.

Открытие Хоцуми и Тонегавы было первым указанием на то, что гены иммуноглобулинов устроены мозаично, т. е. состоят из кодирующих участков (экзонов), разделенных некодирующими, интронами.

Сравнивая структуру эмбрионального V-гена  $\lambda$ -цепей с последовательностью аминокислот V-домена этих же цепей, Брэк и Тонегавы обнаружили, что соответствие между этими структурами наблюдается только на протяжении лидерного пептида (с него начинается синтез полипептидных цепей иммуноглобулинов) и первых 97 N-концевых остатков, причем между экзонами, кодирующими эти участки, находится интрон<sup>5</sup>. Вскоре был найден и фрагмент ДНК, кодирующий остальные аминокислоты V-домена (остатки 98-110). В эмбриональном геноме этот фрагмент расположен между V- и C-генами, в зрелом же он соединен с V-геном, но по-прежнему отделен от C-гена. Поскольку этот небольшой фрагмент ДНК участвует в сближении V- и C-генов, его назвали соединяющим, или J-сегментом (от англ. joining). Таким образом, полный V-ген  $\lambda$ -цепи собирается буквально из кусочков: четырех экзонов и двух интронов.

Гены второго типа легких цепей —  $\kappa$  — в принципе устроены так же, как

гены  $\lambda$ -цепей, но более сложно: в них значительно больше различающихся между собой V-генов (сейчас их насчитывают около 300) и не один, а целых пять J-сегментов, из которых функционируют только четыре<sup>6</sup>. В эмбриональном геноме V-гены и J-сегменты расположены группами на значительном расстоянии и друг от друга и от C-гена.

Поскольку при соматической реорганизации любой эмбриональный V-ген может соединиться с любым из четырех работающих J-сегментов, то в результате могут получиться 1200 различных по структуре V-доменов  $\kappa$ -цепей. Кроме того, само место соединения V—J жестко не фиксировано, не обязательно идет «встык», а может осуществляться между различными нуклеотидами, находящимися в области соединения. Это также увеличивает возможное число вариаций и теоретически приводит к еще большему разнообразию иммуноглобулинов.

## ГЕНЫ ТЯЖЕЛЫХ ЦЕПЕЙ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ

В молекулах антител тяжелые цепи играют главенствующую роль: от них, в основном, зависит специфичность молекулы, они же определяют ее эффекторные функции. Кроме того, существуют две формы H-цепей — секретируемая и мембранная, выполняющие разные функции в иммунном ответе. Сейчас известно, что гены тяжелых цепей построены по тому же принципу, что и легких, т. е. состоят из экзонов и интронов. Однако гены H-цепей имеют ряд особенностей. Во-первых, существует не один, как в генах L-цепей, а целых восемь C-генов, и V-гены (их не меньше 120) могут соединяться с любым из них. Во-вторых, в ходе иммунного ответа один и тот же V-ген может «перескакивать» с одного C-гена на другой. Наконец, в-третьих, известны не только секретируемые, но и мембранные формы H-цепей, кодирование которых неодинокое.

В эмбриональном геноме все C-гены (их обозначают греческими буквами  $\mu$ ,  $\delta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ ,  $\alpha$ ) расположены группой и отделены от V-генов многими тысячами пар нуклеотидов. Между собой C-гены также разделены отрезками ДНК разной длины и располагаются друг за другом в

<sup>4</sup> Hozumi N., Tonegawa S.—Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1976, v. 73, p. 3628; Brack C., Tonegawa S.—Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1977, v. 74, p. 5652.

<sup>5</sup> Tonegawa S. et al.—Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1978, v. 75, p. 1485.

<sup>6</sup> Sakano H. et al.—Nature, 1979, v. 280, p. 288; Max J. et al.—Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1979, v. 76, p. 3450.

следующем порядке:  $C_{\mu}$ ,  $C_{\delta}$ , группа из четырех  $C_{\gamma}$ ,  $C_{\epsilon}$  и  $C_{\alpha}$ . Ближайший к V-генам  $C_{\mu}$ -ген, поэтому при созревании генома в первую очередь соединяются V- и  $C_{\mu}$ -гены и при любом иммунном ответе первыми синтезируются иммуноглобулины класса M.

Эмбриональные V-гены тяжелых цепей, как и легких, кодируют не весь V-домен, а только его лидерный пептид и первые 99 аминокислот. Интересно, что остальной участок V-домена кодируется двумя разными экзонами, а не одним J-сегментом, как в V-доме легки цепей. Второй фрагмент ДНК, кодирующий в V-доме остатки 100—107 и обозначенный D-сегмент (от англ. diversity), расположен между V-геном и J-сегментом<sup>8</sup>. Функционирующих J-сегментов в тяжелых цепях тоже четыре, а D-сегментов не менее 30. Именно эти крошечные сегменты ДНК кодируют последовательность третьего гипервариабельного участка H-цепей иммуноглобулинов и обеспечивают дополнительную возможность синтеза различных по специфичности антител.

Для сборки полного V-гена необходимо соединение четырех эмбриональных экзонов — L, V, D и J. Рекомбинация этих сегментов ДНК приводит к большому числу вариаций в структуре V-генов тяжелых цепей. Легко подсчитать, что число возможных комбинаций для V-генов составляет 14 400, перемножив составляющие их фрагменты: 120 эмбриональных V-генов, 30 D-сегментов и 4 J-сегмента. Учитывая же, что в формировании активного центра принимают участие и L- и H-цепи, можно представить, к какому разнообразию иммуноглобулинов приводит комбинаторика на стадии образования полных V-генов.

В зрелом геноме V-, D- и J-сегменты соединены вместе, но по-прежнему отделены от L-сегмента и ближайшего к ним  $C_{\mu}$ -гена интроном. Следовательно, полный ген тяжелой цепи собирается из 7—8 экзонов и 4—5 интронов.

Вся громадная работа по расшифровке структуры генов тяжелых цепей иммуноглобулинов была выполнена на секретируемых белках, но ведь существуют еще и мембранные формы, образующие специфические рецепторы лимфоидных клеток. До недавнего времени механизм

биосинтеза мембранных H-цепей оставался непонятным, было неизвестно, кодируются они теми же генами, что и секретируемые, или для них в клетке имеются свои собственные гены.

Разница в структуре секретируемых и мембранных форм H-цепей очень невелика и ограничивается величиной и различиями только их C-концевых участков. Поскольку в эмбриональном геноме имеется всего по одной копии каждого C-гена, то очевидно, что обе формы H-цепей иммуноглобулинов считываются с одного и того же гена. Как же это происходит, если продукты гена все же отличаются строением C-концевого участка? Оказалось, что это зависит уже не от изменений в ДНК, а от превращений считываемого с гена предшественника матричной РНК (мРНК), т. е. про-мРНК. Для какой из форм — мембранной или секретируемой — будет синтезирована про-мРНК, зависит от присоединения к ней полиадениловой последовательности (полиА). Если полиА «успевает» присоединиться после считывания 187 оснований, следующих за C-геном, например  $C_{\mu}$ -геном, считывание прекращается и образуется про-мРНК для секретируемых  $\mu$ -цепей, если же считывание идет дальше, то в конечном счете образуется про-мРНК для мембранных форм<sup>9</sup>.

Такой механизм регуляции синтеза белков очень «выгоден», экономичен для клетки, благодаря ему по одной и той же генетической программе могут одновременно синтезироваться и секретируемые и мембранные H-цепи. Четыре года назад Тонегава предположил, что этот же механизм обеспечивает и одновременный синтез на поверхности лимфоцитов иммуноглобулинов двух разных классов — IgM и IgD. Сейчас такое предположение можно уже считать доказанным<sup>10</sup>. Одновременное появление в клетке иммуноглобулинов любых других классов вызывается совсем другими процессами.

## ПЕРЕСТРОЙКИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

В клетках, содержащих иммуноглобулиновые гены в эмбриональной конфигурации, антитела не синтезируются. Для их появления необходима соматическая реорганизация зародышевых генов, их «созре-

<sup>7</sup> Yamawaki-Kataoka Y. et al.— Nucleic Acids Res., 1980, v. 9, p. 1365.

<sup>8</sup> Early P. et al.— Cell, 1980, v. 19, p. 981; Schilling J. et al.— Nature, 1980, v. 283, p. 35.

<sup>9</sup> Early P. et al.— Cell, 1980, v. 20, p. 313.

<sup>10</sup> Tucker P. W. et al.— Science, 1980, v. 209, p. 1353; Liu C.-P. et al.— Science, 1980, v. 209, p. 1348.

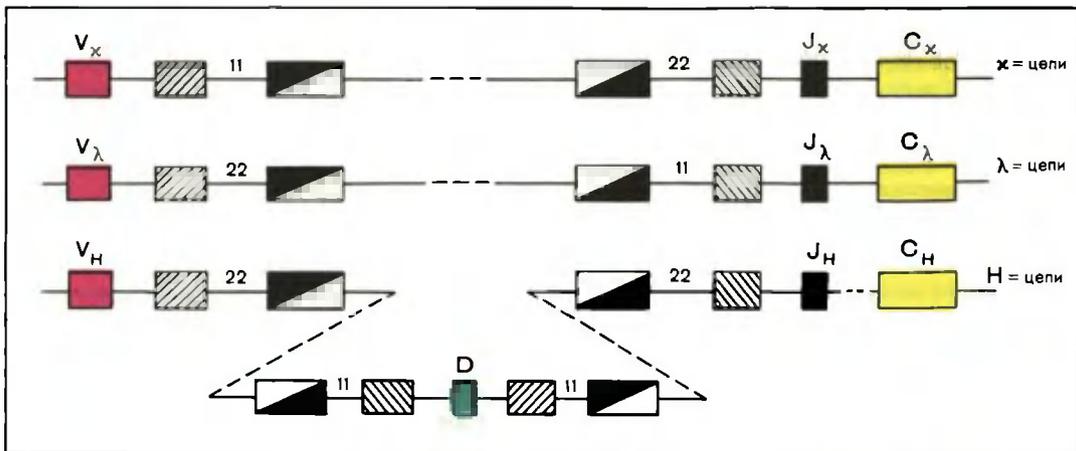


Схема расположения сигнальных последовательностей в ДНК, участвующих в образовании полных V-генов. За эмбриональным V-геном любой цепи иммуноглобулинов —  $x$ ,  $\lambda$  или H — следуют два небольших блока: гептамер [заштрихованный прямоугольник] и нонмер [черно-белый прямоугольник]. Перед J- или D-сегментами находятся эти же блоки, но с инвертированной, обратной последовательностью, расположены они тоже в обратном порядке. Блоки (их называют спейсерами) всегда разделены участками из 11 или 22 пар нуклеотидов. В расположении спейсеров соблюдается правило: если за вступающим в рекомбинацию фрагментом — V или D — находится участок из 11 пар нуклеотидов, то перед сегментом, с которым он объединяется, стоит спейсер из 22 пар нуклеотидов. Очевидно, при рекомбинации V—J или V—D—J из пары спейсеров образуется специфическая структура, которую распознают специальные ферменты и вырезают этот ставший лишним участок.

вание». При этом происходят перестройки двух типов. Одни из них приводят к образованию полных V-генов и объединению их с C-генами, а другие — к переключению зрелых V-генов с одних C-генов тяжелых цепей на другие. Функциональная роль этих перестроек неодинакова, первые обеспечивают в конечном счете различия в специфичности, а вторые — в эффекторных функциях иммуноглобулинов. Молекулярные механизмы, лежащие в основе этих перестроек, тоже различны.

В образовании полных V-генов основную роль играют специфические высококонсервативные участки ДНК, обуславливающие возможность соединения отдельных составляющих фрагментов. В эмбриональной ДНК за V-геном (в направлении от 5'-конца к 3'-концу) следуют два небольших блока разной длины, а перед J-сегментами находятся эти же блоки, но с инвертированной (типа РОЗА — АЗОР) последовательностью и в обратном порядке. Между собой эти блоки разделены сегментами (их называют спейсерами) из 11 или

22 пар нуклеотидов, что соответствует одному или двум виткам спирали ДНК. При этом обязательно соблюдается следующее правило: если за вступающим в рекомбинацию сегментом находится спейсер из 11 пар нуклеотидов, то перед сегментом, с которым он объединяется, обязательно стоит спейсер из 22 пар нуклеотидов, и наоборот. По-видимому, при рекомбинации из пары спейсеров образуется специфическая структура («11+22» или «22+11»), которую распознает специальный фермент и вырезает этот «лишний» теперь участок ДНК. Другой фермент «сшивает» фрагменты, в результате чего составляющие полный V-ген участки ДНК — V и J (в легких цепях) или V, D и J (в тяжелых) оказываются слитыми в одну непрерывную цепочку.

Механизм рекомбинации отдельных сегментов ДНК, приводящий к образованию полного V-гена, для L- и H-цепей одинаков. Рекомбинации между различными семействами генов, кодирующих иммуноглобулины, исключаются благодаря тому, что гены  $\lambda$ -,  $x$ - и H-цепей расположены в разных хромосомах.

Перестройки второго типа, направленные на изменение свойств иммуноглобулинов при сохранении исходной специфичности, связаны с переносом зрелых V-генов тяжелых цепей с одних C-генов на другие. В этих перестройках участвуют совершенно иные сигнальные последовательности нуклеотидов.

Напомним, что за рекомбинацией V—D—J всегда следует объединение образовавшегося полного V-гена с C<sub>H</sub>-геном, и в результате синтезируются иммуноглобулины класса M. Для появления иммуноглобулинов любого другого класса, необходима минимум еще одна перестройка,

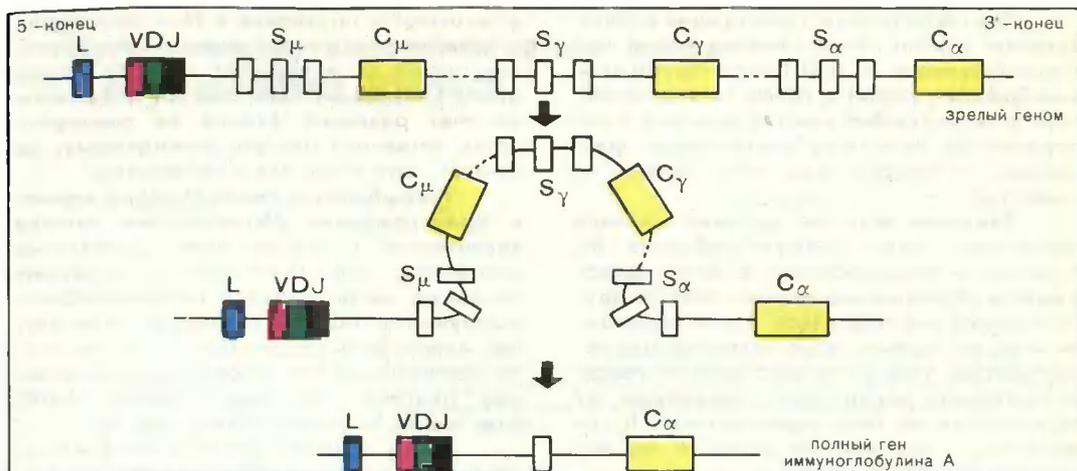


Схема переключения зрелых V-генов тяжелых цепей иммуноглобулинов на  $C_{\alpha}$ -ген при синтезе антител класса А. В зрелом геноме за полимым V-геном следуют C-гены, расположенные цепочкой друг за другом и разделенные нетранскрибируемыми последовательностями (на рисунке из 8 C-генов показаны только три —  $C_{\mu}$ ,  $C_{\gamma}$  и  $C_{\alpha}$ ). Перед каждым из C-генов находятся сигнальные S-участки, переключатели. Именно их распознают ферменты, которые вырезают последовательности ДНК между соединяющимися генами (здесь V- и  $C_{\alpha}$ -генами), а другие ферменты сшивают куски. В результате образуется полный ген иммуноглобулина А.

### ЧТО ПРОИСХОДИТ ПОСЛЕ РЕОРГАНИЗАЦИИ ДНК

Известно, что информацию от ДНК к белку передают специальные посредники — мРНК. Однако иммуноглобулиновые мРНК, которые обнаруживаются в ядре и в цитоплазме, неодинаковы. Ядерная мРНК, правильнее ее называть предшественником, про-мРНК, содержит как экзоны, так и интроны, т. е. перестроенный зрелый ген переводится в последовательность РНК целиком. Принципиально важно и то, что с одного и того же гена могут считываться разные про-мРНК, а следовательно появление того или иного конечного продукта биосинтеза обусловлено не только перестройками генетического материала, но и процессами, регуляция которых осуществляется на других уровнях (вспомним о синтезе секретлируемых и мембранных H-цепей и одновременном появлении в клетке иммуноглобулинов M и D).

переключение. Сигнальными последовательностями при переключениях V-генов служат так называемые S-районы (от англ. switch). Строение таких участков, предшествующих разным C-генам тяжелых цепей (перед каждым из них несколько S-районов), неодинаково, но все они имеют многочисленные прямые или инвертированные, неоднократно повторяющиеся последовательности<sup>11</sup>. Эти повторы и являются сигнальными для ферментов, «вырезающих» и «сшивающих» фрагменты ДНК. Если в клетке идет, например, синтез иммуноглобулина А, C-ген которого стоит в последовательности ДНК последним, это означает, что V-ген переключился на  $C_{\alpha}$ -ген, а все другие, предшествующие ему, выщеплены ферментами<sup>12</sup>. Образование клеткой иммуноглобулина А указывает на то, что произошло последнее из всех возможных переключений и что синтезировать иммуноглобулины других классов она обычно не может.

По окончании транскрипции к про-мРНК присоединяется полиА (возможно, именно эта последовательность служит сигналом для прекращения считывания), а затем из про-мРНК вырезаются интроны<sup>13</sup>. Все это происходит еще в клеточном ядре. В переходящей из ядра в цитоплазму мРНК все кодирующие последовательности уже оказываются слитыми в одну, сохраняются лишь некодирующие участки на концах молекулы мРНК. В цитоплазме мРНК соединяется с рибосомами и кодирует синтез предшественника той или иной цепи иммуноглобулина.

<sup>11</sup> Davis N. et. al.— Science, 1980, v. 209, p. 1360.

<sup>12</sup> Honjo T., Kataoka T.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1978, v. 75, p. 2140.

<sup>13</sup> Gilmore-Hebert M., Wall W.— Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1978, v. 75, p. 342.

Все перестройки, приводящие к образованию полных генов тяжелых цепей иммуноглобулинов М и D (секретируемых и мембранных форм) и генов легких цепей, осуществляются без участия антигена и определяются какими-то внутренними факторами, о которых нам пока ничего не известно.

Введение антигена вызывает сначала усиленный синтез иммуноглобулина М, а затем — переключения в ДНК, приводящие к образованию антител любого другого класса или подкласса. Таким образом, антиген, во-первых, резко интенсифицирует экспрессию уже реорганизованных генов, а во-вторых, индуцирует дальнейшие их перестройки по типу переключений. К сожалению, о том, как это делается, мы пока тоже ничего не знаем.

Имеющиеся сейчас данные о строении иммуноглобулиновых генов показывают, что ближе всего к разгадке механизма синтеза разнообразных антител оказалась гипотеза «встраивания» (мини-генов). Очевидно, что сборка гена из нескольких сегментов резко повышает возможность генерации разнообразных молекул. Мы уже знаем, что этот процесс может обеспечить появление 1200 разных х-цепей и 14 400 Н-цепей. Но поскольку молекула иммуноглобулина состоит из двух типов цепей, очевидно, что при равной вероятности соединения любых Н-цепей с любыми L-цепями число возможных комбинаций составит примерно 17 млн. Таким образом, даже простой комбинаторики, казалось бы, хватает для объяснения существующего разнообразия антител (20 млн). В действительности, однако, дело обстоит гораздо сложнее.

Во-первых, реализуются далеко не все теоретически возможные комбинации, а во-вторых, и это самое главное, отнюдь не все комбинации приводят к синтезу иммуноглобулинов с разными активными центрами. Действительно, активные центры «складываются» из трех гипервариабельных участков, а рекомбинации V—J или V—D—J на два первых участка вообще не влияют. Далее, при V—J рекомбинациях генов легких цепей происходит замена всего лишь одной из 8—10 аминокислот третьего гипервариабельного участка. Эта замена вообще может оказаться несущественной для активности антитела, т. е. не изменить его специфичность. Кроме того, из-за вырожденности генетического кода разные сочетания нуклеотидов могут кодировать одну и ту же аминокислоту. Это приводит к тому, что, несмотря на теоретическую

возможность появления в 96-м положении х-цепей многих разных аминокислот, реальная цифра не превышает четырех. Изменения S-концевых аминокислот V-доменов за счет различий J-генов на специфичность активного центра, по-видимому, не влияют, хотя точно это и неизвестно.

Рекомбинации генов Н-цепей играют в происхождении разнообразия антител значительно большую роль. Достаточно вспомнить, что D-сегменты составляют основную часть третьего гипервариабельного участка Н-цепей. Однако и в этом случае можно быть уверенным в том, что число возникающих при рекомбинациях активных центров заведомо меньше 14 400, т. е. числа возможных комбинаций.

Таким образом, хотя сборка иммуноглобулиновых генов из нескольких сегментов теоретически может привести к образованию множества разных активных центров, объяснить наблюдаемое разнообразие антител только этими процессами, по-видимому, нельзя. Вот тут-то и приходится вспомнить о соматических мутациях. Сейчас уже установлено, что около 50% реально существующих последовательностей тяжелых и легких цепей обуславливаются зародышевыми генами и сборкой их из нескольких сегментов, остальные же последовательности возникают в результате соматических мутаций этих генов в процессе клеточной дифференцировки. Частота мутаций резко возрастает при переключениях V-генов с C<sub>H</sub>-гена на другие С-гены тяжелых цепей. Сейчас предполагают, что ведущую роль в этом играет антиген.

Еще много непонятного и в организации самих иммуноглобулиновых генов. Неизвестно, например, как соединяются сегменты, далеко отстоящие друг от друга, что индуцирует такое соединение, что определяет выбор будущего соседа. Еще предстоит выяснить, с чем связано аллельное исключение (нервное проявление признаков обоих родителей) и какова же роль антигена во всех процессах биосинтеза иммуноглобулинов. Совершенно не изучена пока роль интронов, не исследованы ферменты, участвующие в перестройках генетического материала и межгенных переключениях, не выяснен механизм встраивания иммуноглобулинов в поверхностные мембраны.

Пока на все эти вопросы ответов либо нет, либо они носят предварительный характер. Выяснить их — вполне реальная задача, и, вероятно, это дело недалекого будущего.



## Естественное восстановление лесов в окрестностях Тбилиси

Г. С. Аваков



Генрих Суранович Аваков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института палеобиологии АН Грузинской ССР. Область научных интересов — флора третичного периода на территории Грузии, охрана природы.

Окрестности Тбилиси, расположенного в котловине между гор, очень живописны, и природа его особенно интересна благодаря тому, что здесь проходит граница между степями восточного Закавказья и горными широколиственными лесами. Тут можно видеть причудливую мозаику из лесных островков на горных склонах, зарослей кустарников, открытых лугов и степей, скалистых обрывов и осыпей, поросших суккулентами и ксерофитами, и небольших еще сохранившихся участков пойменного леса вдоль рек.

За более чем полуторатысячелетнее существование города природа этих мест сильно изменилась: нижняя граница широколиственного леса отодвинулась вверх, внутри лесных массивов появились травяные пространства. Места сведенных лесов заняли степные и кустарниковые формации.

Прежнее положение нижней границы леса на ближайших к городу горных склонах сейчас можно кое-где проследить по отдельным небольшим рощицам из дуба, грабинника, граба, кизила и других лесных пород. В окружении зарослей кустарников и искусственных посадок они ютятся в самых труднодоступных местах.

Распространенное мнение о том, что обезлесение окружающих город склонов

произошло недавно и сразу — в XIX в., когда лес был вырублен по приказу наместника Кавказа, — очевидно, не что иное, как позднейший миф. Уже на панорамном рисунке французского путешественника и ботаника Ж. Турнефора, посетившего Тбилиси в 1702 г., видно, что горы вокруг города совершенно безлесны. Да и трудно представить, что могло быть иначе, ведь в прежние времена в городе топливом служил в основном древесный уголь, выжигавшийся в окрестных лесах. Кроме того, обезлесению способствовал выпас скота на склонах и расчистка всех удобных мест под сады и пашни. Однако в прошлом грузинские крестьяне практиковали весьма рациональные способы горного земледелия, оставляя поперечные лесные полосы на склонах между пахотными участками, отчего склон постепенно сам по себе террасировался — разделялся на ряд ступеней. Впоследствии большинство таких участков по разным причинам оказались заброшенными и использовались как пастбища, отчего лесные полосы деградировали и сейчас от них остались лишь более или менее сохранившиеся фрагменты. Но в некоторых глухих местах, например на южном склоне Сагурамского хребта, эти бывшие пашни полностью заросли высокоствольным ле-



Кусты колючего астрагала — колючая стадия антропогенного обезлесения. Отрог Триалетского хребта. Здесь и далее фото автора.

Цветущая спирея.

→  
Лесной островок, ополсанный цветущим терновником. Южный склон Сагурамского хребта.

Цветущий ясенец в зарослях спиреи.

Остатки старых лесных полос на склонах между полями, где когда-то крестьяне севали хлеб.



сом, и сейчас только ступенчатый рельеф склона напоминает о том, что на месте нынешней чащи сеяли хлеб.

Следовательно, устранение антропогенной нагрузки приводит к восстановлению лесной растительности, если она соответствует данному высотному уровню. В настоящее время, после применяемых в течение последних десятилетий мер по посадке и охране лесов, хозяйственное использование многих территорий вокруг города практически прекратилось и можно наблюдать, как наряду с ростом искусственных посадок происходит постепенное естественное возобновление лесов.

Антропогенная деградация дубово-грабниновых лесов по схеме академика Н. Н. Кецховели<sup>1</sup> разделяется на 4 ступени, на последней из которых растительность представлена кустарниковыми группировками, в которых преобладает держи-дерево (*Paliurus spina-christi*). Часто, однако, и эти кустарники подвергаются истреблению: колючие стволы держи-дерева вырубаются, чтобы не мешали пасущемуся скоту, на топливо или для изгородей. Окончательный вид мест, непрерывно использующихся под пастбища, после сведения леса таков: на фоне низкого, подстриженного зубами животных травяного покрова на каменистой почве растут лишь плотные подушковидной формы кусты колючего астрагала (*Astragalus caucasicus*), который животные почти не трогают из-за превращенных в колючки стержней листьев. Иногда пастухи поджигают и эти кусты, чтобы очистить пастбище от посторонней растительности, и тогда остаются только травы.

Можно сказать, что восстановление леса происходит в порядке, обратном описанной Н. Н. Кецховели деградации.

Вначале на лугу появляются отдельные стоящие кусты держи-дерева. Этот устойчивый к засухам кустарник растет сразу несколькими раскидистыми стволами, и каждый куст образует как бы карликовую рощицу, от которой на землю падает довольно заметная тень,— человек вполне может укрыться в ней от солнечного жара. В этой тени даже разрастаются небольшие моховые подушки, но главное — в ней поселяются и другие кустарники, которые не могут сами прижиться на солнцепеке. Из них особенно примечательна таволга, или спирея (*Spirea hypericifolia*).

Тонкие прутьевидные разветвленные на вершине стволы таволги вначале вырастают с северной, теневой стороны держи-дерева. Распространяясь затем во все стороны подземными побегами, они выходят из тени приютившего их куста и захватывают весьма большие пространства. Густые плотные заросли таволги похожи на своего рода миниатюрный лес, высотой по пояс человеку. Теперь они уже сами способны создавать необходимые для своего существования условия, так как под пологом этих зарослей накапливается влага и разлагается листовая опад. Зарослям таволги сопутствуют и другие кустарники: шиповник, эфедра, кизильники (*Cotoneaster*), скумпия, крушина Палласа и др., которые, однако, не образуют больших сплошных массивов. Иногда заросли спиреи в конце лета, в засуху, загораются от случайно брошенного огня, но на следующий год пожарище покрывается молодой порослью от корневищ, и за 2—3 года выгоревшие заросли полностью восстанавливаются.

С течением времени среди кустов спиреи появляются деревья; возможно, что их внедрению способствуют отчасти именно пожары, которые на время освобождают почву от плотной чащи тонких стволов. Так или иначе, но заросли спиреи дают сеянцам деревьев необходимую им вначале тень. Первыми появляются чаще всего боярышники (*Crataegus*), затем свидина (*Cornus australis*), каркас (*Celtis caucasicca*), жимолость (*Lonicera iberica*), клен (*Acer ibericum*) и, наконец, грабник (*Carpinus orientalis*) и дуб (*Quercus iberica*). Одиночные вначале, эти деревья разрастаются группами, затем смыкают кроны, и в их тени отмирают светлюбивые кустарники, подготовившие для них почву. Восстанавливается свойственный данной зоне дубово-грабниновый и впоследствии дубово-грабовый лес.

Ныне в разных местах можно видеть различные стадии этого процесса и по ним составить себе представление о ходе его в целом. Но сколько лет требуется для полного завершения этой сукцессии? Автор этих строк имел возможность в течение 30 лет наблюдать, как постепенно зарастал северный склон Телетского хребта (к юго-востоку от города). За это время большие участки, занятые ранее только травянистыми формациями с редкими кустами, покрылись непролазной чащей спиреи. Днища ущелий на этом хребте сделались местами совершенно непроходимыми из-за зарослей ежевики, дикого винограда и сассапарили (*Smilax excelsa*), опутывающих стволы

<sup>1</sup> Кецховели Н. Н. Растительный покров Грузии (на груз. яз.). Тбилиси, 1959, с. 238.

каркаса и дикого инжира. Лесные деревья в виде отдельных рощиц появились пока только по ложбинам между склонами. До сплошного высокоствольного леса здесь пока еще далеко, вероятно, на это потребуется еще несколько десятилетий.

Заросли спиреи и сами по себе имеют значительную экологическую ценность и эстетическую привлекательность. Очень красива спирея во время цветения в конце апреля — начале мая и является, кроме того, хорошим медоносом. Тут много и других красиво цветущих кустарников — боярышников, ирги (*Amelanchier rotundifolia*), жасмина (*Jasminum fruticans*), а также трав. Здесь основное местообитание валерианы лекарственной, чьи соцветия высоко поднимаются в мае — июне над другими травами, великолепны ясенец (*Dictamnus caucasicus*) и лабазник (*Filipendula hexapetala*). По окраинам зарослей растут различные ирисы, шафран и многие другие эффектно цветущие травы. В непролазных кустарниках находят убежище различные мелкие животные и птицы. Здесь держатся каменные куропатки и соловьи.

В тех местах, которые непрерывно служат для выпаса скота и сенокоса и где лес сохраняется в виде островков, а также на опушках больших массивов спирея, как правило, отсутствует. Сами же лесные острова посреди лугов обычно окружены узким поясом из колючего терна (*Rupus spinosus*), который во время цветения в апреле выделяется сплошной белой полосой. Такой колючий пояс как бы защищает лес от пасущихся животных, хотя сам возникает как следствие пастбы. Появление спиреи свидетельствует о начавшемся процессе лесовозобновления на лугах, но у опушек лесные деревья могут опережать спирею и, разрастаясь за счет корневой поросли и семян, захватывать небольшие прилегающие участки.

Так через промежуточные стадии происходит естественное восстановление лесов. Интересно сравнить эти дикие формации с искусственными лесонасаждениями, которые начиная с 30-х годов стали появляться повсюду на больших площадях. В них использовалась в основном эльдарская сосна, позднее к ней прибавилась сосна черная. Приживались они хорошо, и, видимо, поэтому аборигенные виды деревьев и кустарников почти не использовались. Ныне, когда эти искусственные сосняки подросли, по воздействию на окружающую среду их можно сравнивать с естественными лиственными рощами. От них посадки отличаются прежде всего отсутствием под-

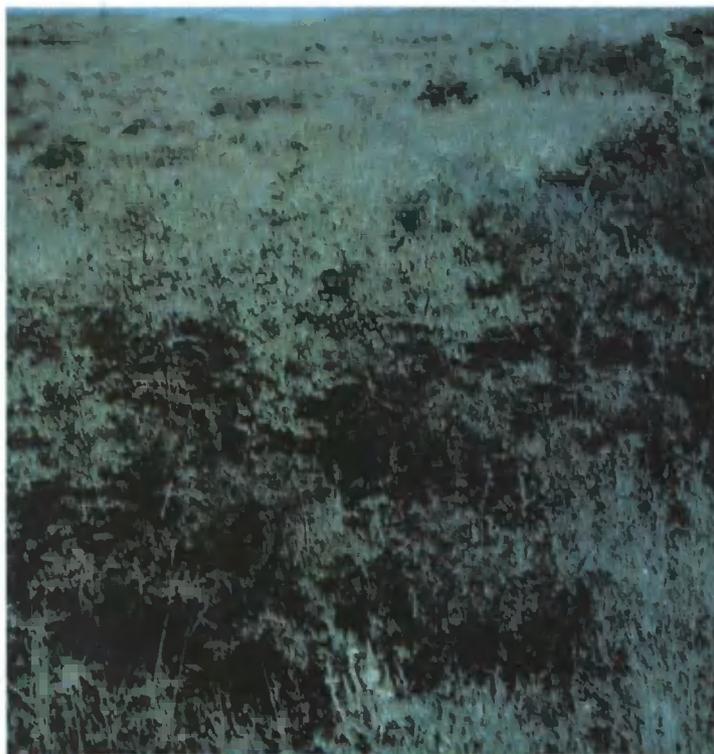
леска и вообще крайним угнетением почвенной растительности. Вместо нее почва в сосняках устлана мертвым ковром из опавшей хвои. На ровных и пологих местах этот мертвый покров достаточно толст и поэтому еще может защитить почву от размыва. На крутых же склонах опавшая хвоя удерживается плохо, и обычно ее сносят дождевые потоки. Следовательно, противозрозионные свойства таких насаждений хуже, чем у лиственных кустарников. Животные в таких искусственных сосняках почти не держатся, не находя там пищи.

В тех случаях, когда посадки сосны оказались более разреженными, положение иное, так как в промежутках между ними идет обычным порядком сукцессия лиственного леса. Такую картину можно видеть, например, на всем хорошо знакомом по фотографиям и открыткам склоне горы Мтацминда, с южной стороны от линии фуникулера. Здесь имеются как плотные мертвопокровные участки искусственных посадок эльдарской сосны, так и разреженные, со спирейными зарослями, с жимолостью грузинской, кизилом, грабником и с уже довольно высокими экземплярами дуба и граба. Нужно сказать, что такая форма насаждений эльдарской сосны весьма сходна с ее реликтовой естественной рощей на хребте Элляр-оуги у реки Иори.

Следует ожидать, что в плотных посадках эльдарской сосны с течением времени, по мере изреживания полога, возобновится заторможенная пока сукцессия лиственного леса, более соответствующего местным климатическим условиям.

Тем не менее нельзя отрицать положительного влияния искусственных посадок эльдарской сосны на крайне эродированные скалистые и сыпучие склоны, на которых почва смыта полностью. 5—6-летние саженцы ее очень живучи и укореняются на таких бесплодных местах, где никакие другие деревья не выживают. Хотя для сосны и приходится выбивать в скальном грунте лунки, обкладывая их камнями и насыпать туда землю, но зато в таких местах, с затененными соснами от иссушающих лучей солнца грунтом, начинается почвообразование и поселяются другие растения.

Первые посадки эльдарской сосны производились именно в таких условиях. Затем, однако, ее стали культивировать повсюду — и на склонах с хорошим почвенным покровом, и на ровных площадях, явно жертвуя при этом сенокосными и пастбищными угодьями. Но так как саженцы высаживались в лунки, резко изменения



Молодые рощицы грабняк с дубом среди спирейных зарослей на северном склоне Телетского хребта.

Держи-дерево в окружении спирей.

Кустарниковый склон в окрестностях оз. Лиси. У левого края видны старые сосновые посадки, высаженные без террасирования.





экологической обстановки не происходило. Однако в последние годы при лесопосадочных работах повсюду стали применять сплошное и глубокое перепахивание земли бульдозерами на больших площадях, уничтожая при этом кустарниковый и травяной покров, в том числе и спирейные заросли. Затем эти площади засаживались 1—2-летними сосновыми саженцами. Чем такой способ лучше, непонятно, так как саженцы отнюдь не оказываются в лучшем положении, чем при старом способе посадки, потому что их быстро заглушают появляющиеся на перепаханной земле заросли высокорослых сорных трав, известных в просторечии под названием бурьяна. Но главное, при этом полностью разрушается уже сложившийся биоценоз с местообитаниями животных и растений, причем среди них оказываются и редкие, подлежащие охране виды. Развитие растительного покрова отбрасывается в таких посадках назад, к начальным стадиям сукцессии.

Особенно разрушительно для дикой природы и почвы так называемое терраширование, при котором бульдозер отбрасывает в отвал весь плодородный слой земли и склон, по существу, превращается в настоящее обнажение коренных пород (в

ряде мест возле Тбилиси это солоносные глины). Эти террасы не имеют ничего общего с террасами, которые издавна применялись в сельском хозяйстве населением горных стран, и подобный метод лесопосадок явно ничем не оправдан и вряд ли надо объяснять, что он противоречит принципам охраны природы. К сожалению, гипноз подобного «террасирования» ныне прочно владеет умами лесоводов, и они, по-видимому, не слишком задумываются, чем оно оборачивается в действительности. В то же время кустарниковые заросли не входят в число охраняемых природных объектов, а между тем было бы весьма желательно сохранить хотя бы в нескольких местах эти заросли, чтобы вести многолетние наблюдения над естественным восстановлением лесов, что имело бы, несомненно, большую научную и практическую ценность.

## Исчезнувшие народы. Авары.

И. Эрдели



Иштван Эрдели, доктор исторических наук, заведующий сектором археологии раннего средневековья Института археологии Венгерской Академии наук. Специалист по истории и археологии кочевых народов. Принимал участие в археологических экспедициях на территории СССР и МНР; один из редакторов и авторов 3-томной «Археологии Венгрии» (из печати вышел т. I. М.: Наука, 1980).

Народы, сошедшие с исторической арены, часто не оставляли по себе мемуаров, письменных памятников, даже документов. Часто единственным свидетельством их жизни являются археологические данные. Так получилось и при исследовании истории одного из «исчезнувших народов» — авар, в которой многое остается загадочным.

Почти два с половиной столетия авары, осевшие в результате Великого переселения народов в районе Карпатского бассейна (нынешнее Задунавье, Центральная Венгрия, Трансильвания)<sup>1</sup>, обладали здесь сильной политической властью. В IX в. они сошли с исторической арены — растворились среди других народов. В венгерских хрониках сведений о них совсем нет. Определить древнюю территорию расселения этого племени и представить себе его повседневную жизнь нам помогают византийские и латинские (франкские) хроники, а также данные археологии.

### УХОД ЛАНГОБАРДОВ

1 апреля 568 г. — последний день пребывания лангобардов на территории древней Паннонии. Спустя сутки они дви-

нулись в Северную Италию, где и осели, образовав Лангобардское королевство (нынешняя Ломбардия). Их место по обоим берегам Дуная заняли пришедшие с востока авары.

Пришествие их не было мирным. Когда-то, после распада в V в. гуннской державы, территорию современного Затисья и Трансильвании населяло германское племя гепидов. Лангобарды вступили с ними в бой. На помощь они призвали авар, благодаря чему обеспечили себе победу. В результате погибло несколько десятков тысяч воинов-гепидов; многих победители взяли в плен. В сражении погиб и король гепидов Кунимунд.

Каким же образом авары появились в этих местах и были втянуты в борьбу?

Византийский летописец VII в. Феофилакт Симокатта писал, что авары — это псевдоним племен уар и хунни, которые приняли имя могущественного азиатского народа для большего устрашения покоренного населения Восточной Европы. Сведения эти не выдержали критики: позже было установлено, что народ, называвший себя аварами, действительно был аварами.

В XVIII в. была высказана гипотеза, что авары — это племена, вышедшие из Центральной Азии и известные под именем жуан-жуаней. По другой версии, они —

<sup>1</sup> См.: Археология Венгрии. Т. I. М., 1980.

выходцы из Средней Азии. Однако и до настоящего времени вопрос об их происхождении неясен.

Аварские посланцы явились в Европу в 558 г. Они обратились к аланскому правителю Саросию<sup>2</sup>, чтобы при его содействии просить византийского императора впустить их на территорию империи. Вскоре аварское посольство, возглавляемое неким Кандиком, прибыло в Константинополь. Появление авар в византийской столице вызвало большой интерес, ибо в волосы мужчин были вплетены цветные ленты — характерный убор кочевников.

Представ перед императором, посол сказал: «К тебе пришел народ авар, наибольший и наисильнейший из народов. Он может легко отбить и уничтожить врага, поэтому тебе выгодно заключить союз с аварами: в них обрешь ты надежных защитников».

В VI в. Византия была могущественной державой и во многом определяла ход европейских событий. Соперником византийской империи была держава франков. Король франков Теодеберт в союзе с лангобардами и гепидами хотел выступить против Византии. Этим намерениям не суждено было сбыться из-за вражды между лангобардами и гепидами.

В это же время произошло такое важное событие, как переселение в Карпатский бассейн славянских племен, представлявших серьезную военную опасность для Византии, особенно после их объединения с конными номадами — кутригурами, жившими в Северном Причерноморье.

В сложившейся для византийского императора политической ситуации авары были выгодным союзником. После заключения с ними договора он отправил авар против кутригур, родственных им утигур и восточных славян, с которыми они успешно сражались. После этого император предложил им земли на территории современной Сербии. Однако эти земли не понравились аварам. Они попросили для себя Добруджу, лежащую вдоль дунайских берегов: равнинная территория больше удовлетворяла кочевников. Но и здесь они задержались ненадолго. Заключив союз с лангобардами против гепидов и победив их, они переселились в Паннонию, ибо, по условиям этого союза, в случае победы лангобарды должны были покинуть эту территорию. Так и произошло.

Византийскому императору было на руку поражение тевтонов. После их падения он сразу же занял их столицу, находившуюся на территории древнего Сирмия, что вызвало, однако, длительную византийско-аварскую распрю.

## АВАРСКИЙ КАГАНАТ И ЕГО СОСЕДИ

Закрепившись на новой территории, авары создали новое государственное объединение — Аварский каганат. Первым правителем был их предводитель каган Баян. Ему было подвластно множество обитавших здесь племен, в том числе славяне и гепиды. Почти столетие власть кагана распространялась на часть территории южнорусской степи, населенной кочевниками. Кроме того, в конце VI в. в Аварский каганат влились преследуемые тюрками племена кутригуров, тарнахов и забендеров.

В это время византийцы на своих восточных окраинах вели войну с персами. Подобное обстоятельство благоприятствовало действиям авар: вместе со славянами они в 70—80-е годы VI в. произвели опустошительные набеги на земли, лежащие по нижнему течению Дуная, которыми владела Византия. Последняя, однако, после победы над персами в 591 г. вытеснила на некоторое время авар с балканских территорий.

В последующем аваро-византийские стычки проходили с переменным успехом. Войска кагана Баяна доходили до Константинополя, но случалось, что византийцы обращали их вспять, причем часть войска кагана переходила на сторону противника.

Западные соседи авар также не были миролюбивы. В 595 г. в союзе со словенами им пришлось вступить в борьбу с баварскими племенами, а затем и с франками.

Не менее бурным был VII век. На западной границе аварских земель славяне во главе с франкским купцом Само создали недолговечное (623—658 гг.) государство, объединившее чехов, моравов, словен и т. д. Их восстание против авар увенчалось успехом. Более того, в 631 г. им удалось одержать победу над франками. Но государство распалось сразу же после смерти Само.

В это время Аварский каганат переживает тяжелый внутренний кризис, связанный с прекращением династии Баяна. С целью овладения золотым тронном кагана кутригуро-болгары подняли восстание внутри страны, подавленное аварами. Вследст-

<sup>2</sup> Об аланах см.: Хазанов А. М. «Исчезнувшие народы». Сарматы. — Природа, 1978, № 11.

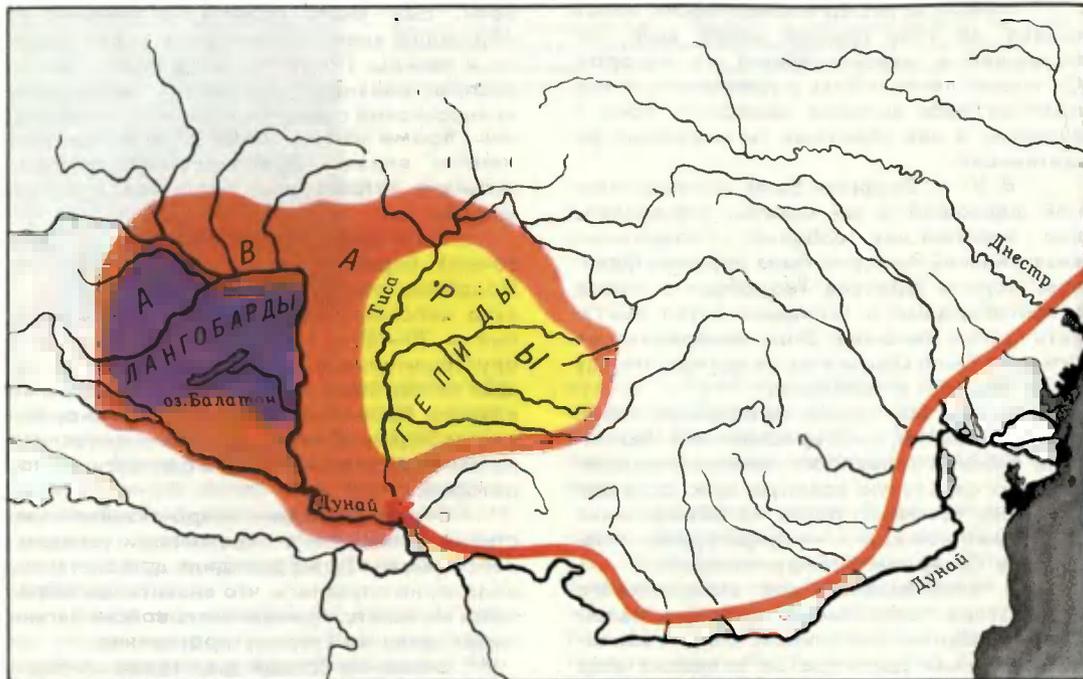
вие этого кутригуро-болгары были вытеснены с земель каганата.

В конце 70-х годов VII в. протоболгары расселились по Дунаю и создали собственное государственное объединение, поддерживавшее до IX в. дружеские отношения с аварами. Более того, как сообщается в одной из византийских хроник, один из сыновей болгарского хана Куврата после образования в южнорусских степях Хазарского каганата был вынужден со своим народом вновь переселиться на аварскую территорию. Это дает некоторые основания

считать, что с помощью протоболгар менялся этнический тип авар, что подтверждается и археологическим материалом.

### ЭТНОГЕНЕЗ АВАР

Выше уже говорилось, что авары, согласно одной из гипотез, являются потомками жуан-жуаней, в кочевую империю которых одно время входили и тюрки. Согласно другой гипотезе, они вышли из Средней Азии и их предками являлись варкхониты; последняя версия подтверждается якобы



Карта расселения авар в VI—IX вв. Стрелкой указан путь передвижения авар с востока через Причерноморье в район Карпат.

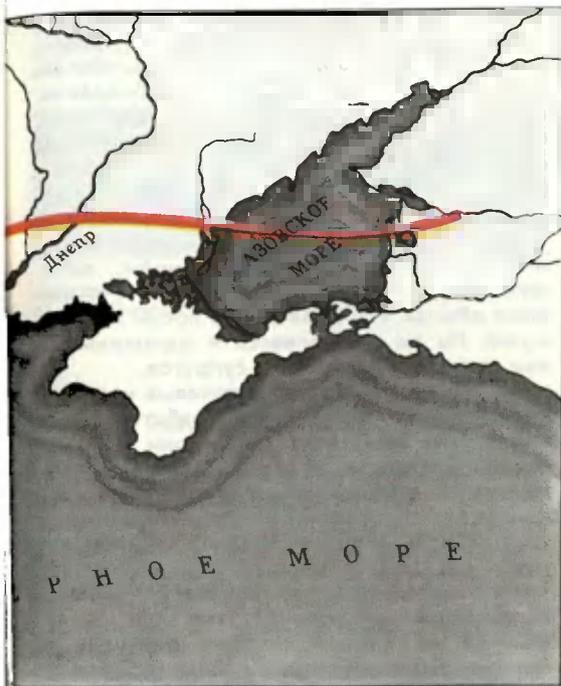
-  Гепиды V—X вв.
-  Лангобарды (до 568 г.)
-  Аварский каганат (568—803 гг.)
-  Путь переселения авар

тем, что на территории Венгрии названия некоторых селений имеют корень «варкхон». Преодолев в середине VI в. огромные территории, авары привели с собой в Карпаты и другие этнические элементы: иранцев с Поволжья, кутригур из южнорусских степей. Таким образом, сами авары изначально представляли собой не «чистый», а этнически смешанный народ. Обычай устраивать большие могильники, хоронить лошадей отдельно от человека свидетельствуют о том, что среди пришельцев были монголоиды, «частичные» же захоронения лошадей (только ноги и череп) — об иранских обычаях<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Еще в начале прошлого столетия среди ученых возникла дискуссия о возможном родстве

Реконструкция черепов из одних могильников аварской эпохи позволяет отнести их к монголоидам. Но в других могильниках этот тип встречается редко, а в иных, относящихся к той же эпохе, и вовсе отсутствует: в них были погребены исключительно европеоиды (североевропейского, средиземноморского, восточно-балтийского типов).

Среди древнего населения Центральной Венгрии были потомки сарматов и населения древнеримских провинций, жившие здесь еще до прихода авар, — со



дагестанских аварцев и «исчезнувших» авар. Такое предположение вряд ли правомерно. Язык дунайских авар был, по всей вероятности, тюркским, а у дагестанских аварцев — своеобразный кавказский. Древнее название дагестанских аварцев — маарулал — также отвергает родство этих двух народов. Однако, по сведениям древних авторов, среди правителей аварцев Серира (древнее название Дагестана) был один по имени Авар. Быть может, кочевники авары, продвигаясь на запад, временно останавливались в степях Северного Дагестана и политически подчинили или сделали своим союзником Серир, столица которого до IX в. находилась в с. Тануси (недалеко от современного с. Хунзах). Некоторые современные ученые предполагают, что часть авар в свое время застряла в Хазарском каганате, куда входил Дагестан; это может свидетельствовать, по их мнению, о непосредственной связи двух народов. Однако историческими сведениями такое предположение не подтверждается.

всеми ними авары вступали в брак. Если к этому прибавить еще и славянское влияние, то окажется, что в VI—IX вв. в Карпатском бассейне обитало этнически смешанное население, объединенное именем авар или обров, как они себя называли.

Средняя продолжительность их жизни была низкой: мужчин — 38 лет, женщин — 36 лет. Особенно часто умирали дети в возрасте до двух лет.

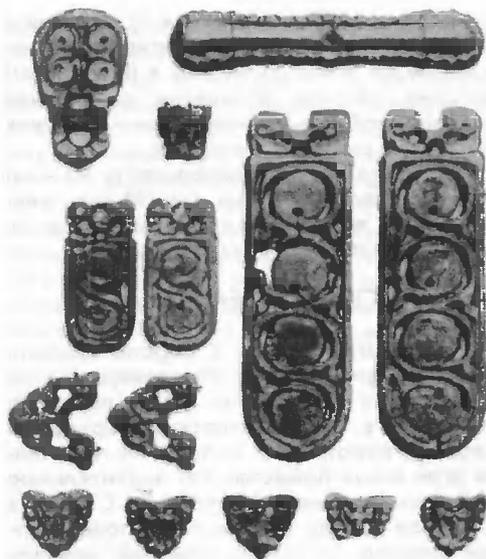
## АВАРСКОЕ ОБЩЕСТВО

Пребывание авар в Европе принято делить на три периода. Раннеаварский период длился с середины VI в. почти до конца VII в. Среднеаварский период — довольно короткий, и выявление памятников этой эпохи представляет значительную трудность для исследователей. С начала VIII в. до начала IX в. длился позднеаварский период, когда из обычаев исчезли ирано-монгольские черты — большие могильники, отдельные захоронения лошадей.

На территории Венгрии и в соседних странах обнаружено более двадцати тысяч погребений, относящихся к аварской эпохе. Задача археологов заключается в систематизации, классификации и датировке материала. Последняя особенно сложная, поскольку в аварских могильниках редки монеты, позволяющие точно определить время захоронения.

По степени богатства могильников определяется иерархия общества. Во главе каганата стоял каган. Его первая жена звалась катун. Наместниками кагана были тудун, который, вероятно, являлся правителем отдельной части страны, и югур. По поручению кагана дань в стране собирали так называемые тарханы — это, скорее всего, знать. За тарханами — вниз по иерархической лестнице — шли вожди племен и родов. Племенным и родовым вождям и принадлежит чаще всего найденный во время раскопок погребальный инвентарь (в Сентэндре, Боче, Кунсентмиклош-Бабоне и т. д.).

Большая часть аварского общества состояла из воинов. В погребениях находится много оружия, так как, по представлению древних, войны и в загробном мире продолжали ту же деятельность, что и на земле. Можно предположить, что захоронения с оружием принадлежали знати, поскольку оружие было дорогим. Часто богато украшенные мечи и кольчуги простых воинов в могилы не попадали, а переходили по наследству от отца к сыну. В погребениях нет и колчанов с полным набором стрел



Полный набор аварского воина из с. Алаття (Венгрия, VIII в.).

(известно лишь погребение в Боче, где захоронен вождь племени). Обычно количество стрел не достигает и десятка. Вероятно, каждая стрела была символом власти над десятью свободными воинами — ведь организация аварского войска строилась по принятой в Азии десятичной системе.

Известно множество богатых погребений ранне- и среднеаварского периодов, сконцентрированных в средней части Венгрии. Однако в позднеаварское время таких погребений нет. Зато увеличивается количество могил с бедным инвентарем, что свидетельствует как о расслоении общества, ведущем к возрастанию числа людей, лишенных собственности и попавших в зависимость, так и о влиянии христианства, ибо церковь запрещала языческие обряды захоронения с оружием и конем. Тем не менее в могилы попадали украшения (серьги, браслеты, кольца, перстни), головные уборы, по которым можно судить об общественном положении погребенного.

Каждая большая патриархальная семья имела свое место в могильнике. Однако знатных людей хоронили отдельно от остальных членов семьи — в особой части могильника; в таких отсеках обычно много золотых вещей.

Знать хоронили иногда в гробах из скрепленных досок. Бедняков, по-видимому, заворачивали в циновки или какой-нибудь другой быстро истлевающий в земле материал.

Форма могил была различной. Известны, хотя и крайне редко, могилы «с подбоем»: от основной ямы отходило мешкообразное углубление для умершего. Иногда это углубление шло параллельно основной яме, где хоронили лошадь.

Различные формы могил свидетельствуют о том, что авары смешивались с другими народами постепенно, сохраняя старые обычаи и подчеркивая тем самым, какие этнические элементы имеют перевес в тех или иных родах. Описанный обычай захоронения показывает преобладание монголоидных элементов. Захоронения в стоячем или сидячем положении свидетельствуют о том, что могильник принадлежит потомкам сарматов или же выходцам из Средней Азии.

Встречаются и парные погребения: либо мать с грудным младенцем, либо мужчина и женщина, что, вероятно, отражает обычай убийства вдовы после смерти мужа. Но не исключается и одновременная естественная смерть супругов.

Авары, как и другие кочевые народы, не знали развитого института рабства. Лишь в качестве домашних рабов они использовали попавших в плен иноплеменных воинов и разорившихся соплеменников.

## ПОСЕЛЕНИЯ И ХОЗЯЙСТВО АВАР

В настоящее время известно местонахождение нескольких сот поселений VII—IX вв. Самые крупные раскопки в Венгрии были проведены близ г. Дунайвароша, где сохранились остатки 37 жилищ. На своих селищах авары жили в полужемлянках с деревянными стенами, внутри которых были сложные печи-каменки. Во многих жилищах обнаружены зерновые ямы, а между постройками — глинобитные очаги. В VII в. жилища на каждом селище располагались по кругу. (Так же располагались жилища на Эльбе и в Молдавии.) На эти зимние селища полукочевые авары возвращались вместе со скотом после выпаса его на летних пастбищах. С весны до осени они жили в легкопереносимых юртообразных сооружениях.

Основой хозяйства авар являлось полукочевое скотоводство. Постепенно полукочевой образ жизни сменялся оседлым. Поэтому часть населения (главным образом потомки римлян, сарматов и переселившихся



Изображение мифологической борьбы зверей на бронзовом наконечнике пояса из с. Банхалом (Венгрия, VIII в.).



Аварская руническая надпись на костяном игольнике из могильника с. Яношхида (Венгрия, VII в.).

ся сюда славян) занималась и земледелием.

Большую роль в аварском быту играла лошадь. По костным остаткам установлено, что это были лошади в основном восточных кровей, быстрые, пригодные для передвижения в степи и на песчаных почвах<sup>4</sup>. Именно таких лошадей изобразили резчики по кости и серебру раннеаварской эпохи.

Помимо коневодства авары разводили крупный рогатый скот, овец, коз, мелких кур — в погребениях не раз попадалась раскрашенная яичная скорлупа.

Исследование костей свиньи, найденных среди остатков пищи, которой снабжали умершего в дальнейшее путешествие по загробному миру, показало, что славянские животноводы аварской эпохи скрестили выведенную еще в неолите южноевропейскую породу домашней свиньи с северо-европейской. Именно с тех пор и существует широко распространенная в середине XX в. алфельдская жирноносная порода свиньи.

О растениеводстве авар известно мало. Остатки зерновых культур обычно находят в обугленном состоянии. Так, сохранились зерна проса (эту культуру выращивали и авары, и славяне), пшеницы (VI—VII вв.), ржи и овса (IX в.).

Землю пахали деревянным плугом с железным сошником. На территории Венгрии такой сошник известен с IX в., а в древней Моравии и раньше. Пшеницу жали серпом.

В большинстве погребений обнаружены хорошего качества глиняные сосуды, значительная часть которых в позднеаварский период изготовлялась на гончарном круге. Некоторые сосуды ввозились из окрестных мест, не издалека, поскольку глиняные изделия не выдерживают длительной перевозки.

На территории Венгрии того времени обнаружены и остатки железоплавильной печи-домны для изготовления сырья для оружия и сельскохозяйственных орудий.

Товары производились не только для удовлетворения своих собственных потребностей, но и для обмена. В аварских погребениях находится много вещей, везенных из других мест. Среди них золотые, серебряные и бронзовые серьги, браслеты, перстни, пряжки, головные уборы, цветные стеклянные бусы. Очевидно, привозились шелковые ткани и другой материал для одежды, не сохранившийся до наших дней. За все это платили, по-видимому, скотом, лошадьми, кожами, шерстью.

Из латинских источников известны торговые и рыночные места, где появлялись со своими товарами авары — странствующие купцы и ремесленники. Погребение одного из них было обнаружено в окрестностях с. Кунсентмартон. Среди находок была пластинчатая нагрудная кольчуга: дороги в стране не всегда были безопасны для путников.

В Аварский каганат приезжали купцы издалека, с Востока. По некоторым данным, через Карпаты проходили важные торговые пути на Запад. По обычаю всех кочевых народов, авары вжимали с торговых караванов пошину. В результате престиж правителей отдельных областей страны и самого кагана значительно увеличился.

#### БЫЛИ ЛИ У АВАР ДЕНЬГИ?

Сами авары не чеканили своих денег. Некоторые исследователи полагают, что авары занимались подделкой византийских золотых монет. Однако на всей террито-

<sup>4</sup> О древних породах лошадей см.: Ковалева В. Б. Ахалтекинцы: наследство, за которое мы в ответе. — Природа, 1982, № 4.

рии каганата обнаружено не более дюжины таких подделок, а этого недостаточно для окончательного решения вопроса, тем более что поддельные деньги найдены и у соседних народов.

В VI в. византийцы выплачивали каганату дань золотом. Общая сумма годовой дани достигала 80 тыс. золотых солидов, а начиная с 600 г. увеличивалась и до 100 тыс. Со временем и эти суммы стали недостаточны. В начале VII в. византийские императоры платили аварам «за мир» ежегодно по 120 тыс. солидов. По некоторым подсчетам, 1/75 часть золотого фонда Византии выплачивалась в качестве дани аварам (годовое поступление золота в казну империи составляло в то время в среднем 37 тыс. кг золота, что равнялось 8 млн солидов).

До 626 г. аварскому кагану было выплачено около 6 млн солидов, что соответствовало 25 тыс. кг золота. Это несметное количество монет в оборот не поступало. Вероятно, авары переплавляли их для изготовления украшений и сосудов; небольшая часть делилась между вождями. Она-то и попадала в клады.

### УМЕЛИ ЛИ АВАРЫ ЧИТАТЬ И ПИСАТЬ?

Археологические данные свидетельствуют о том, что авары знали руническое письмо: они высекали и выцарапывали различные заклинания, чтобы уберечься от бед, и именные знаки собственности (тамги) на различных предметах. Однако у нас нет данных, что эта письменность использовалась в переписке или в создании литературных памятников. По-видимому, героический эпос, легенды и сказки, существующие у всех народов, передавались изустно<sup>5</sup>.

О языке авар также мало известно. Мы можем получить о нем некоторое представление только по личным именам и названиям титулов, хотя и имена и титулы могли быть и не аварского происхождения. Причем и их сохранилось немного:

<sup>5</sup> В XV—XVII вв. руническим письмом пользовались секеи — венгроязычное население Трансильвании. По сведениям венгерских хроник XIII—XIV вв., секеи появились на территории Венгрии прежде венгров. Происхождение рунической письменности у секеев неясно. Возможно, в будущем будет установлено родство аварской и секейской письменностей: ведь известно, что руническое письмо пришло к народам Восточной Европы из Центральной Азии и в VIII—IX вв. получило здесь широкое распространение.



Стеклянные расписные бусы раннеаварского периода. VII в.

имена послов были Кандик, Солак, Кок, одного из шаманов звали Боколаброй. Вероятно, это имена тюркского происхождения, равно как и титулы кагана, тудуна, югура, тарханов.

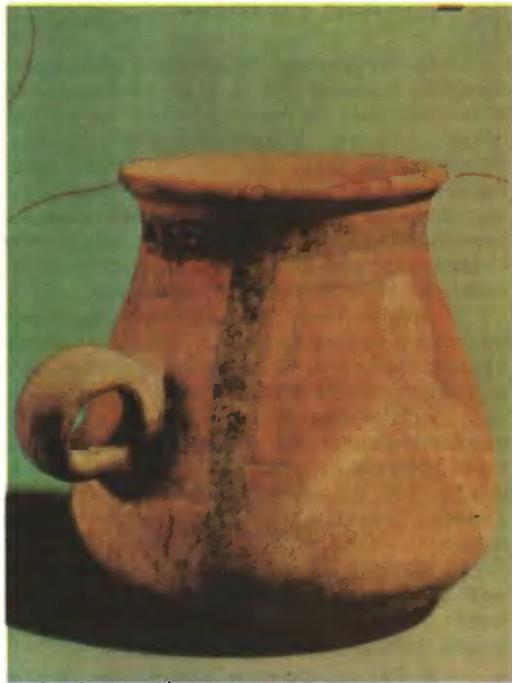
### ВЕРОВАНИЯ АВАР

О верованиях авар и других народов Аварского каганата известно очень мало. В одном из источников упоминается главный шаман; другой свидетельствует, что авары были идолопоклонниками.

Ясно, что авары как бы удваивали мир: помимо земного они мыслили себе и загробный. Вместе с умершим в могилу обычно клали пищу, коня с оружием, чтобы воин мог продолжать свой путь и битвы. Потусторонний мир, согласно шаманистическим поверьям, состоял из нескольких уровней, расположенных один над другим. Умершие могли попасть на верхний уровень лишь после различных испытаний. Такому продвижению наверх помогали стрелы — поэтому их и клали в колчан рядом с погребенным.



Золотая псевдопращка из клада с. Тепе (Венгрия, VII в.).



Глиняный сосуд позднеаварского периода из с. Секкуташ (Венгрия, VIII—IX вв.).

Перед погребальным обрядом или во время него могильные ямы «очищались» от злых духов с помощью огня или горящих угольев.

Разные народы, согласно своим поверьям, хоронили людей головой к той или иной части света — по направлению к центру мира или в ту сторону, откуда ждали воскресения. У авар единой ориентации не было — слишком разноплеменными они были; погребение происходило головой как на восток, так и на запад. Во многих случаях над умершими совершали магические действия. Уже после погребения могилу вскрывали, вынимали череп погребенного и читали над ним заклинания. Боязнь того, что умерший может вернуться с того света, побуждала иногда хоронить покойников распластанными на животе.

#### ИСКУССТВО АВАРСКОЙ ЭПОХИ

Авары были хорошими резчиками по кости, на роговых пластинках. Как свидетельствуют хроники, они изготавливали вели-

колепные ковры, вышивки, ткани, занимались художественной обработкой серебра и дерева. К сожалению, ничего из этого не дошло до наших дней. Зато сохранились прекрасные металлические украшения — византийского образца серьги, браслеты, кольца, перстни; цветные стеклянные бусы и ожерелья, изготовленные, по-видимому, на Востоке. Свободные воины VI—IX вв. носили ремни, украшенные металлическими бляшками. Такими же бляшками покрывались и конские сбруи. В позднеаварский период бляшки изготавливались методом художественного литья. Среди них трудно найти две одинаковые. На поясных ремнях закреплялись большие литые наконечники с растительным орнаментом, фигурками людей или с изображением борьбы животных. Мечи и колчаны вождей покрывались золотом, простых воинов — серебром. Даже железные стремена были художественно выкованы, а некоторые инкрустированы серебром.

Глиняная посуда (возле г. Сексарда обнаружены гончарные печи) была, однако, слабо орнаментирована.

## ПАДЕНИЕ КАГАНАТА

О внутреннем положении Аварского каганата с конца VII в. и до конца VIII в. в письменных источниках нет почти никаких данных. Усиливающаяся держава франков, во главе которых в 768 г. встал Карл Великий, постепенно подчиняла своему влиянию все большее число народов Европы. Были покорены саксы, некоторые славянские племена. Проводилась насильственная христианизация населения.

Авары были для франков наиболее опасными противниками. Поэтому вначале они пытались установить с ними дружеские отношения. Для этого они обменялись посольствами: в 780 г. в Worms прибыли аварские послы, а затем посольство франков посетило каганат. Тем не менее в 788 г. баварскому князю Тассило удалось заключить с аварами союз против франков. Однако войско их было разбито. Тогда Карл разработал план окончательной расправы с аварами. Для этого он предварительно укрепил ряд городов, в том числе пограничный Регенсбург.

В 791 г. франки выступили против каганата. Наследный принц Пипин, который вел свое войско из Италии, захватил одну из аварских крепостей. Основные силы франков под предводительством Карла подвигались на восток вдоль Дуная. У Регенсбурга франки навели через Дунай мост для постоянного обеспечения своего войска с тыла. Победенные, но окончательно не покоренные саксы решили поддержать авар, отправили к ним посольство, а затем подняли восстание у себя на родине, в тылу франков. Авар, однако, это уже не могло спасти, так как в самом каганате начались раздоры.

В ходе внутренней смуты был убит югур, а позже и сам каган. В 795 г. тудун уже пытался принять христианство и в связи с этим отправил послов к франкам. В 796 г. он лично прибыл в Ахен — столицу Карла Великого и присягнул на верность королю.

В этом же году войско франков во главе с Пипином захватило резиденцию аварских каганов, по-видимому, находившуюся возле р. Тисы. Множество авар спаслось бегством за Тису, но еще больше попало в плен. Франки одержали полную победу, ликвидировавшую политическую самостоятельность Аварского каганата. В Ахен отправились обозы с сокровищами, накопленными аварами в течение столетий.

В одном византийском источнике IX в. сохранились любопытные подробности о причинах разложения позднеаварского общества; это рассказы старых аварских воинов, находившихся в болгарском плену у хана Крума. Хан спросил у них: «Что вы думаете, почему были разорены ваши господа и ваш народ?» Они ответили так: «Вначале из-за ссоры, лишившей кагана верных и правдивых советников, власть попала в руки людей нечестивых. Затем были развращены судьи, которые должны были отстаивать перед народом правду, но вместо этого побратались с лицемерами и ворами; обилие вина породило пьянство, и авары, ослабев физически, потеряли и рассудок. Наконец, пошло увлечение торговлей: авары стали торговщиками, один обмывал другого, брат продавал брата. Это, господин наш, и стало источником нашего постыдного несчастья».

Все же авары долго не смирялись с поражением. В 797 г. они восстали, и франки вынуждены были повторить поход, вновь увенчавшийся успехом. В конце 797 г. аварские послы опять присягнули на верность Карлу Великому. Однако восстание поднялось снова в 799 г., а в 802 г. были убиты франкские должностные лица. Это были последние вспышки: франки побеждали не только силой оружия, но и новым мировоззрением. В 798 г. в Зальцбурге было учреждено епископство, проповедовавшее аварам христианскую религию. В 805 г. новую веру принял сам каган.

В IX в. авары занимали уже небольшую часть Задунавья, по-видимому, территорию между Веной и р. Рабой. По мнению некоторых исследователей, их область простиралась на восток по Паннонхалмы, где их теснили славяне.

Последние сведения об аварском посольстве к франкам относятся к 823 г. На имперском государственном собрании оно представляло покоренный франками некогда известный и могучий народ. Еще в Верденском договоре 843 г. о разделе империи Карла между его сыновьями упоминалось «Аварское королевство».

«Погибоше аки обре, их же нет, ни племени, ни потомства», — говорится в «Повести временных лет» (XII в.). Уже спустя столетие после падения Аварского каганата этот народ представлялся в памяти могучими великанами (самоназвание авар — обры — в некоторых западнославянских языках означает великанов), о которых слагались легенды.

## Гравитационные линзы

П. В. Блюх, А. А. Минаков



Павел Викторович Блюх, доктор физико-математических наук, заведующий отделом физики плазмы и ионосферы Института радиофизики и электроники АН УССР, профессор кафедры космической радиофизики Харьковского государственного университета. Основные работы относятся к области космической радиофизики и распространению радиоволн.



Анатолий Алексеевич Минаков, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник отдела физики плазмы и ионосферы того же института. Занимается исследованиями в области космической радиофизики, в частности дифракцией электромагнитных волн в гравитационных полях.

В среде астрономов и астрофизиков сенсация — открыта гравитационная линза! Проявляет она себя более чем скромно, в виде двух слабых звездочек в созвездии Большой Медведицы, почти слившихся друг с другом. Их сфотографировали еще в 1950 г., но спектры этих звезд удалось получить лишь в 1979 г. Именно эти спектры и привели специалистов к заключению, что обнаружена гравитационная линза: хотя на фотографии видны две звезды, но на самом деле существует только одна, т. е. двойное изображение — кажущееся, своего рода «космический мираж». О земных миражах, наблюдающихся в морях и пустынях, знает каждый; известно, что они возникают довольно часто. Космические миражи, создаваемые

гравитационными линзами, — явление более редкое, и обнаружить его не так просто. Однако обо всем этом следует рассказать по порядку.

### О ЧЕМ ПИСАЛА «ПРИРОДА» СОРОК С ЛИШНИМ ЛЕТ НАЗАД

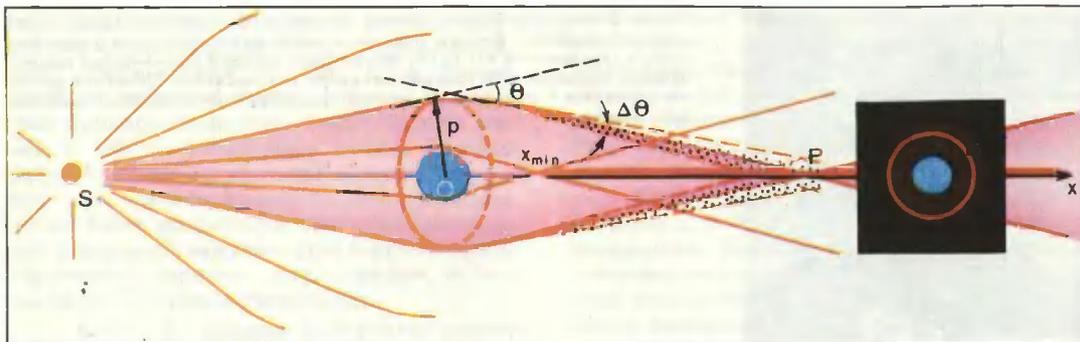
В 1938 г. в № 6 «Природы» была помещена статья Г. А. Тихова под названием «Следствия возможного отклонения световых лучей в поле тяготения звезд». В ней полностью описана гравитационная линза, хотя сам термин автором не использовался. Касаясь истории вопроса, Г. А. Тихов писал: «Летом 1935 г. мне пришла мысль исследовать вопрос об отклонении световых лучей в поле тяготения звезд...

К концу 1935 г. я уже сделал значительную часть работы и в январе 1936 г. прочитал об этом доклады в Ленинграде и Пулковке. Впоследствии оказалось, что начиная с того же 1935 г. этим вопросом занимались еще несколько ученых, в числе которых находился и сам Эйнштейн<sup>1</sup>.

Действительно, примерно в то же время, в 1936 г., в американском журнале «Science» появилась заметка А. Эйнштейна «Линзоподобное действие звезды при отклонении света в гравитационном поле»<sup>1</sup>. Нередко на эту статью ссылаются как на

Правда, Лодж возражал против самого термина «линза», а Эддингтон, хотя и указал на возможность появления двух изображений одной звезды, сделал неправильные выводы об уменьшении их яркости (на самом деле за счет фокусировки яркость изображений возрастает). Тем не менее имена этих ученых, конечно, должны быть включены в список первооткрывателей гравитационных линз.

Нельзя забывать и еще об одном исследователе. Мы имеем в виду чешского инженера-электрика Р. Мандла. Он сам не



Принцип работы гравитационной линзы. Поле тяготения звезды  $O$  действует подобно собирающей линзе. Лучи света от источника  $S$  преломляются на угол  $\theta$ , который тем больше, чем меньше прицельный параметр  $p$ . Линза имеет фокальную полуось, простирающуюся вправо от точки  $x_{min}$  (широкая красная линия). Для наблюдателя, находящегося на оси  $x$  в точке  $P$ , источник  $S$  представляется в виде светлого кольца вокруг звезды-линзы (правая часть рис.). В силу различных факторов преломленные лучи рассеиваются на угол  $\Delta\theta$ .

первую работу по гравитационной фокусировке, хотя на самом деле известны и более ранние публикации. Одна из них (О. Д. Хвольсон, 1924) упоминается в той же статье Г. А. Тихова. Но и эта работа не была самой первой. О некоторых оптических эффектах, которые должны наблюдаться при прохождении света в поле тяготения звезды (а именно при таких условиях и возникают гравитационные линзы), говорилось еще раньше в статьях английских астрономов О. Лоджа (1919)<sup>2</sup> и А. Эддингтона (1920)<sup>3</sup>.

писал статей о гравитационных линзах, но свои мысли о них высказал Эйнштейну, который и произвел необходимые расчеты. Об этом прямо говорится в самом начале работы Эйнштейна: «Некоторое время тому назад меня посетил Р. Мандл и попросил опубликовать результаты небольшого расчета, который я провел по его просьбе. Уступая его желанию, я решил опубликовать эту заметку»<sup>4</sup>.

Среди упомянутых публикаций выделяются работы А. Эйнштейна и Г. А. Тихова, выполненные независимо друг от друга и практически одновременно. В них имеются необходимые расчеты (у Г. А. Тихова более подробные), тогда как во всех предыдущих статьях содержались лишь качественные описания некоторых проявлений линзового эффекта. В последующие годы в различных странах появилось большое число работ на эту тему; о некоторых из них мы расскажем в этой статье.

#### ЧТО СОБОЙ ПРЕДСТАВЛЯЕТ И КАК РАБОТАЕТ ГРАВИТАЦИОННАЯ ЛИНЗА

В основе эффекта гравитационной фокусировки лежит преломление световых лучей в неоднородном поле тяготения. Впервые этот вопрос был иссле-

<sup>1</sup> Эта работа на русском языке содержится в кн.: Эйнштейн А. Собрание научных трудов. М., 1965, т. 2, с. 436.

<sup>2</sup> Lodge O. Gravitation and light.— Nature, 1919, v. 104, p. 354.

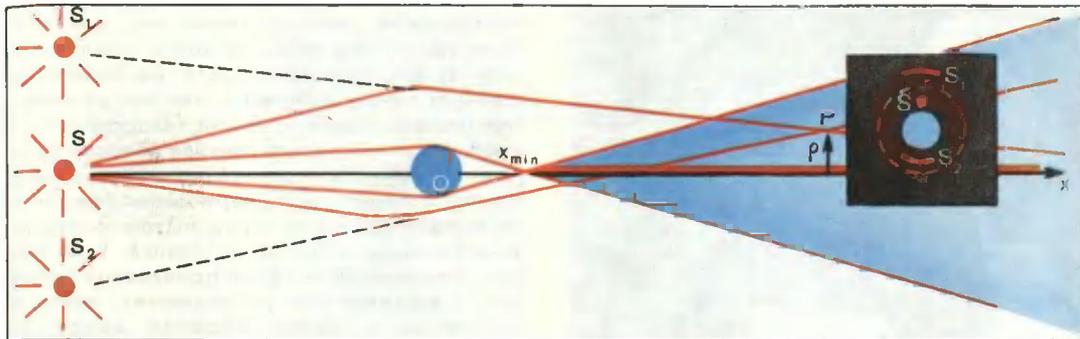
<sup>3</sup> Eddington A. Space, time and gravitation. N. Y., 1920.

<sup>4</sup> Эйнштейн А. Цит. соч., с. 436.

дован в 1804 г. И. Зольднером, который в рамках теории тяготения Ньютона определил величину угла отклонения луча света при прохождении его у края диска Солнца. По расчетам Зольднера этот угол равен  $0,87''$ . Исследователь основывался на корпускулярном представлении о природе света, считая, что «световые частицы» притягиваются к небесному телу, мимо которого они пролетают.

Но прошло немногим более десяти лет, и О. Френель убедительно показал, что свет — это волна. Возможно, поэтому рабо-

порциональный ее массе,  $\rho$  — прицельный параметр, т. е. наименьшее расстояние от невозмущенного светового луча до центра звезды. Сильнее всего в гравитационном поле звезды преломляются те лучи, которые проходят непосредственно у края ее диска. Для них прицельный параметр равен радиусу звезды  $R$ , а  $\theta_{\max} = 2r_g/R$ . Если исключить из рассмотрения черные дыры, то можно заметить, что размеры всех звезд очень велики по сравнению с их гравитационными радиусами. Поэтому углы отклонения в



Работа гравитационной линзы для наблюдателя, не находящегося на оси  $x$ . Вместо одного источника  $S$  он увидит два изображения в виде дуг —  $S_1$  и  $S_2$  — по разные стороны от звезды-линзы  $O$ . Если смещение наблюдателя  $Q$  выходит из области фокусировки (синий сектор), одно из изображений исчезнет. В квадрате справа наряду с изображениями  $S_1$  и  $S_2$  пунктиром показано светящееся кольцо, которое видно только с оси  $x$ , и положение источника  $S$ .

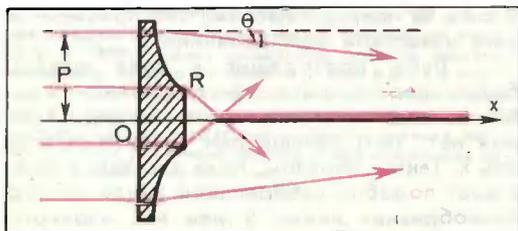
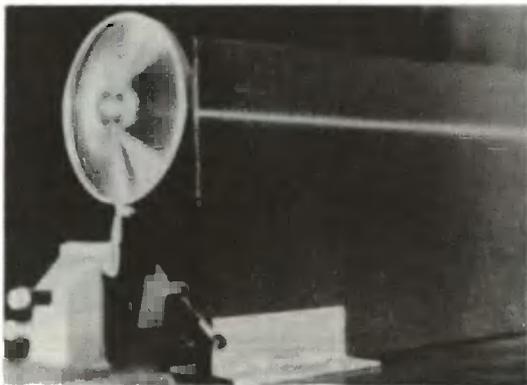
та Зольднера была надолго забыта, а преломление света в гравитационном поле вновь привлекло к себе внимание уже как эффект, предсказанный общей теорией относительности (ОТО). Окончательные расчеты, выполненные Эйнштейном в 1915 г., дали вдвое больший результат для угла отклонения луча вблизи края солнечного диска ( $1,75''$ ). Первые измерения, осуществленные Эддингтоном в 1919 г. во время полного солнечного затмения, подтвердили выводы ОТО, но окончательного согласия среди астрономов не было еще долгое время. Любопытно, что в упомянутой выше статье Г. А. Тихова приводятся две серии оценок: одна из них основана на классической механике, а вторая — на данных ОТО.

Формула, по которой определяется угол преломления луча  $\theta$  в слабом гравитационном поле, проста:  $\theta = 2r_g/\rho$ , где  $r_g$  — гравитационный радиус звезды, про-

ляях тяготения звезд всегда малы (в противном случае формула для  $\theta$  уже не применима). Например, для Солнца  $R = 7 \cdot 10^5$  км,  $r_g = 2,96$  км, что приводит к уже известной нам величине  $\theta_{\max} = 1,75''$ .

Лучи, проходящие у края звезды, будут пересекаться на расстоянии  $x_{\min}$ . Ближе этого расстояния точек пересечения нет, зато дальше они заполняют всю ось  $x$ . Таким образом, поле тяготения действует подобно собирающей линзе, но это своеобразная линза: у нее нет изолированного фокуса, а имеется фокальная полуось, которая начинается в точке  $x_{\min}$  и простирается до бесконечности. Пользуясь выражением для  $\theta_{\max}$ , легко рассчитать  $x_{\min}$ :  $x_{\min} = R^2/2r_g$ . Если взять для ориентировочных оценок данные, относящиеся к Солнцу, получим, что  $x_{\min} = 8,3 \cdot 10^{10}$  км. Вспомним, что расстояние от Земли до Солнца равно  $1,5 \cdot 10^8$  км, т. е. в несколько сот раз меньше  $x_{\min}$ . Это означает, что наблюдать с Земли линзовый эффект поля тяготения Солнца нельзя. С другой стороны, ближайшая звезда удалена от нас на 4,3 св. года ( $1 \text{ св. год} = 9,46 \cdot 10^{12}$  км), что в сотни раз превышает  $x_{\min}$ . Поэтому в принципе любая из звезд может служить в качестве гравитационной линзы, необходимо только, чтобы звезда-источник и звезда-линза располагались примерно на одном луче зрения.

Что же увидит наблюдатель, находящийся на оси  $x$  где-нибудь в точке  $P$ ? Звезда-линза закрывает для него прямые лучи от источника  $S$ , а преломленные лучи попадают к нему по образующим конуса. Поэтому звезда-источник будет видна в виде светлого кольца, окружающего диск фокусирующей звезды. Угловые размеры звезды-линзы и кольца очень малы (они равны соответственно  $\theta_0 = R/x$  и  $\theta_1 = \sqrt{2r_g/x}$ , где  $x$  — расстояние от звезды-линзы до наблюдателя), увидеть их



Лабораторная модель гравитационной линзы. Источник света находится слева. На экране высвечивается фокальная полуось. Внизу показано сечение линзы и ход преломленных лучей.  $R$  — радиус звезды-линзы.

в отдельности не удастся даже в лучшие из наземных телескопов.

Если наблюдатель сместится с оси  $x$  на некоторое расстояние  $\rho$ , картина станет совсем иной. Симметрия лучей нарушается, светящееся кольцо разрывается на две дуги, которые по мере удаления от оси будут стягиваться в маленькие кружки. До тех пор пока наблюдатель не выйдет из области фокусировки, он будет видеть вместо одной звезды  $S$  два источника света  $S_1$  и  $S_2$ , расположенные по разные стороны

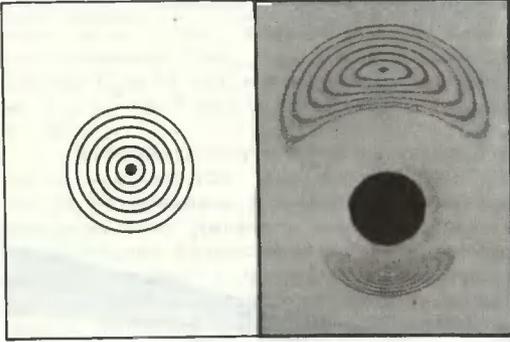
от звезды-линзы. Это и есть тот самый «космический мираж», о котором мы упомянули в начале статьи. При выходе наблюдателя из области фокусировки изображение  $S_2$  исчезнет (оно полностью экранируется диском звезды-линзы), а  $S_1$  будет примерно совпадать с истинным положением звезды-источника.

Оптические свойства гравитационной линзы можно наглядно продемонстрировать в лабораторных условиях с помощью простой модели. Для этого в Отделении радиоастрономии Института радиофизики и электроники АН УССР нами была изготовлена линза с таким же, как и в гравитационном поле, законом преломления лучей. Источник света располагался слева от линзы, а справа от нее был установлен рассеивающий экран, на котором отчетливо была видна узкая светлая полоска (фокальная полуось «гравитационной линзы»). На листе бумаги было нарисовано семейство концентрических окружностей, которые имитировали изофоты источника, т. е. линии, соединяющие точки одинаковой яркости, с постепенным уменьшением яркости от центра к краю. Сложная деформация видимого через модель линзы изображения фотографировалась при различных смещениях наблюдателя от фокальной полуоси.

Но вернемся к настоящей гравитационной линзе. В области пересечения лучей должен наблюдаться еще один эффект, связанный с гравитационной фокусировкой, — увеличение яркости звезды-источника. В статьях Тихова и Эйнштейна можно найти следующую формулу для коэффициента усиления:  $q = \sqrt{2r_g x / \rho}$ . Видно, что с увеличением расстояния  $x$  усиление линзы не убывает, как можно было бы ожидать, а, наоборот, растет пропорционально  $\sqrt{x}$ . Кроме того, на самой оси ( $\rho = 0$ ) коэффициент усиления неограниченно возрастает, что физически неосуществимо. Этот результат является следствием упрощенного рассмотрения, основанного на геометрической оптике (представление о луче, как о бесконечно тонкой линии). На самом деле в природе всегда существуют факторы, вызывающие размытие лучей в пределах небольшого угла  $\Delta\theta$ . Поэтому лучи пересекаются не в одной точке, а на некоторой площадке, что приводит к вполне определенному (не бесконечному!) коэффициенту усиления.

Действительно, с учетом размытия фокальное пятно на оси  $x$  имеет размеры  $x\Delta\theta$ . Теснее, чем на этой площадке, лучи сойтись не могут. Следовательно, для

оценок максимально возможного усиления надо заменить  $q$  в формуле для  $q$  на  $q_{\min} \approx x\Delta\theta$ , после чего получим  $q_{\max} \approx \theta_1/\Delta\theta$ . Выражение для угла  $\theta_1$  нам уже известно, что же касается угла размыва лучей  $\Delta\theta$ , то его величина может определяться различными факторами. Если, например, учесть, что наблюдаемая звезда  $S$  имеет конечные угловые размеры  $\Delta\theta_s$ , то надо положить  $\Delta\theta = \Delta\theta_s$ . Размыв лучей возникает и в процессе распространения электромагнитной волны из-за рассеяния на



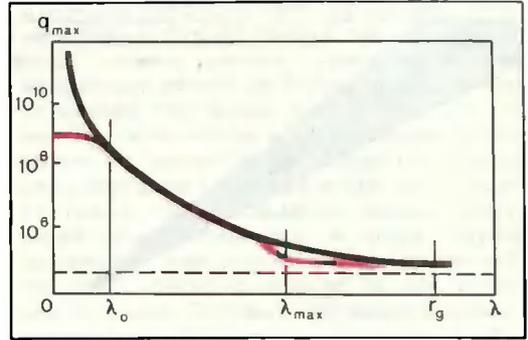
Изофоты источника света (концентрические окружности слева), сфотографированные с помощью модели гравитационной линзы. Видно, как раздвигается и деформируется изображение источника (справа).

неоднородностях межзвездной среды. Угол рассеяния  $\Delta\theta$ , зависит от свойств неоднородностей, расстояния до звезды и длины волны  $\lambda$  наблюдаемого излучения. Обычно  $\Delta\theta$ , возрастает с ростом  $\lambda$ , поэтому в диапазоне достаточно длинных радиоволн эффект гравитационной фокусировки будет ослаблен<sup>5</sup>. Подобным же образом действуют и гравитационные поля окружающих линзу звезд.

В отличие от угла  $\Delta\theta$ , угол гравитационного рассеяния  $\Delta\theta_g$  не зависит от

длины волны. Ко всему этому необходимо еще прибавить дифракционный размыв лучей. Он связан с волновой природой света и характеризуется углом дифракции  $\Delta\theta_d = \lambda/r$ . При расчетах необходимо учитывать все перечисленные выше факторы, но, как правило, главную роль играет наибольшая из составляющих угла  $\Delta\theta$ .

Очень важно, что углы  $\Delta\theta_g$ ,  $\Delta\theta_d$  и  $\Delta\theta_s$  по-разному зависят от длины волны. Это приводит к некоторым ограничениям на тот диапазон, в котором можно наблю-



Зависимость максимально возможного коэффициента усиления гравитационной линзы  $q_{\max}$  от длины волны  $\lambda$ . В идеальном случае  $q_{\max}$  ограничивается дифракцией волн (черная кривая). В реальных условиях космической среды усиление приближается к дифракционному пределу только в ограниченном диапазоне длины волны от  $\lambda_0$  до  $\lambda_{\max}$  (красная кривая);  $r_g$  — гравитационный радиус звезды-линзы. Кривые построены для звезды, подобной Солнцу.

дать эффект гравитационной фокусировки. С ростом длины волны максимально возможный коэффициент усиления уменьшается до единицы (при  $\lambda = r_g$ ). Это абсолютная длинноволновая граница гравитационной фокусировки. С учетом рассеяния излучения на плазменных неоднородностях межзвездной среды длинноволновая граница  $\lambda_{\max}$  может сместиться в сторону более коротких волн и значительно сузить рабочий диапазон. Ограничения со стороны коротких волн имеют иной характер. Начиная с некоторого значения  $\lambda_0$ , угол дифракции становится меньше углового размера источника или угла гравитационного рассеяния, и дальнейший рост  $q_{\max}$  с уменьшением длины волны прекращается, так как  $\Delta\theta$  перестает зависеть от  $\lambda$ . При

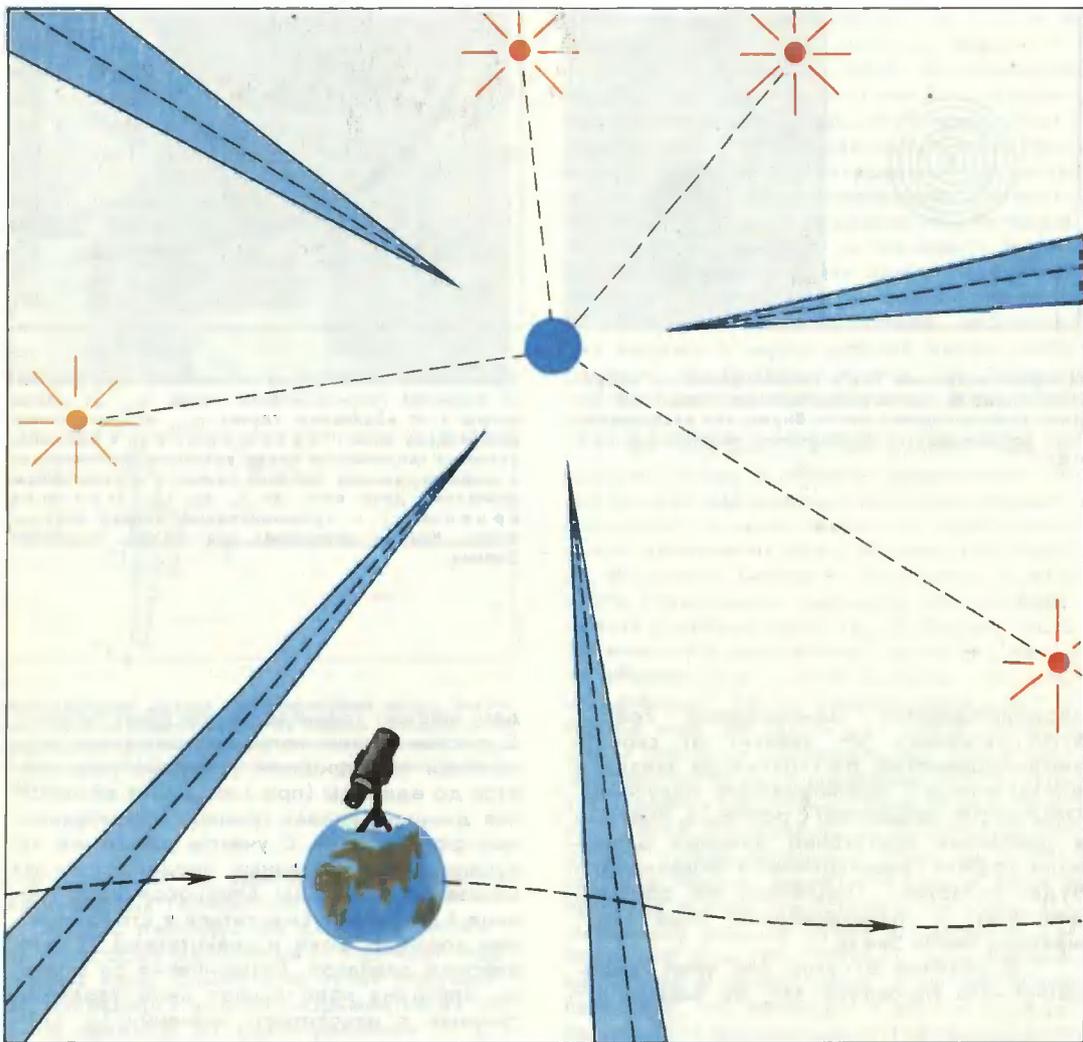
<sup>5</sup> Этот вопрос рассмотрен в статье: Блюх П. В., Минаков А. А. О возможности наблюдения гравитационной фокусировки в радиодиапазоне. — Изв. высш. уч. зав. Радиофизика, 1978, т. 21, с. 802.

этом коэффициент усиления может оставаться достаточно большим, т. е. абсолютных ограничений со стороны коротких волн не существует (разумеется, в пределах применимости ОТО).

Величины  $\lambda_{\max}$  и  $\lambda_0$  зависят от конкретных условий наблюдения. Заметим, что никакая другая линза не обладает таким свойством. Дело в том, что с уменьшением длины волны показатели преломления всех веществ стремятся к единице и обычные линзы перестают работать на очень коротких волнах, например в обла-

сти рентгеновских лучей. Отсутствие коротковолновой границы — характерное свойство гравитационной линзы, которая, таким образом, способна фокусировать не только свет, но также рентгеновские и  $\gamma$ -лучи, и даже поток нейтрино.

Приведем некоторые оценки, считая дифракционный размыв преобладающим, что соответствует идеальным условиям фокусировки. В этом случае  $\alpha_{\max} \sim r_g/\lambda$ . Здесь снова проявляется интересная особенность гравитационной линзы: макси-



«Иглы» — области фокусировки излучения различных источников вокруг звезды-линзы. Если земной наблюдатель попадет в одну из «игл», он сможет обнаружить действие гравитационной линзы. Стрелки показывают направление движения Земли.

мально возможный коэффициент усиления не зависит от расстояния  $x$ .

Но любую звезду окружает большое число источников излучения, и каждый из них создает с противоположной от линзы стороны свою область фокусировки. Поэтому гравитационную линзу можно представить в виде «ежа», у которого во все стороны торчат «иглы» — фокальные полуоси. Если Земля при своем движении пересечет одну из таких «игл», наблюдателю покажется, что излучение, идущее со стороны звезды-линзы, внезапно усилилось. Возрастание яркости источника, определяемое коэффициентом усиления гравитационной линзы, может достигать очень больших значений. Так, для звезд, подобных Солнцу ( $r_g \approx 10$  км), в оптическом диапазоне ( $\lambda \approx 5 \cdot 10^{-5}$  см)  $\eta_{\text{max}}$  примерно равен  $2 \cdot 10^{10}$ .

Возможность усиления яркости в десятки миллиардов раз, естественно, не могла не привлечь внимания астрономов. Неоднократно делались попытки связать значительное возрастание яркости некоторых источников с фокусирующим действием гравитационных линз. Подобным образом пытались объяснить, в частности, огромные потоки излучения от далеких квазаров. Мы не будем останавливаться здесь на этих представлениях, так как они не выдерживают критики с точки зрения астрофизики, что же касается самого факта наблюдения линзового эффекта, то эта задача сама по себе оказалась очень простой.

### В ЧЕМ СОСТОЯТ ТРУДНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ЛИНЗ

Прежде всего, вероятность пересечения «иглы» наземным наблюдателем очень мала. Действительно, размеры области максимального усиления равны  $x\Delta\theta_d$ . Полагая  $x = 10^{14}$  км (расстояние до ближайших звезд) и  $\Delta\theta_d \sim 10^{-15}$  рад (угол дифракции света вблизи края звезды, подобной Солнцу), получим  $x\Delta\theta \approx 100$  м. Это и есть тот характерный масштаб, который определяет толщину «игл». Если наблюдатель сместится от фокальной полуоси, например, на 100 км, то коэффициент усиления уменьшится в тысячу раз по сравнению с максимальным. Правда, он все равно остается очень большим, но надо помнить, что линзовый эффект удастся обнаружить лишь в том случае, если сфокусированное излучение от далекой звезды-источника значительно превзойдет

излучение более близкой звезды-линзы. Для каких-либо оценок допустимого спада усиления и соответствующего смещения от оси необходимо знать конкретные условия наблюдения, но уже приведенные выше цифры показывают, что речь идет о совсем небольших по космическим масштабам расстояниях. Следовательно, и вероятность попасть на фокальную полуось очень мала.

Кроме того, нельзя забывать, что мы рассматривали идеальную ситуацию, когда разрыв лучей происходит исключительно из-за дифракции, а поле тяготения звезды-линзы предполагается сферически симметричным. Строго говоря, гравитационное поле можно считать сферически симметричным только на больших расстояниях от центра тяготения, вблизи же него начинают сказываться всевозможные отклонения от шарообразной формы звезды, неоднородное распределение массы внутри нее, а также вращение звезды вокруг своей оси. Очевидно, в этом случае симметрия лучей нарушается даже для наблюдателя, расположенного на оси источника — линзы. Поэтому светящееся кольцо, показанное на первом рисунке, разбивается на части, т. е. возникает несколько изображений источника (их может быть два и больше). Сколько их будет — заранее сказать нельзя, потому что характер нарушения симметрии зависит от конкретной конфигурации поля тяготения. При смещении наблюдателя от оси  $x$  изображения источника сдвигаются по сложным траекториям вокруг фокусирующей звезды.

С учетом асимметрии расчет максимального коэффициента усиления значительно усложняется, но основные результаты все же можно сформулировать. Если длина волны фокусируемого излучения больше некоторого значения  $\lambda_0^*$  ( $\lambda_0^*$  зависит от степени нарушения симметрии поля тяготения), то влияние несферичности почти не заметно, а вот на коротких волнах при  $\lambda < \lambda_0^*$  оно становится основным ограничением.

Вращение звезды-линзы приводит к еще одному интересному эффекту. Согласно ОТО, окружающее пространство вовлекается во вращение вместе со звездой. При этом также нарушается симметрия лучей, что сказывается на эффекте фокусировки. И в данном случае результат зависит от длины волны фокусируемого излучения. Для сравнительно длинных волн, когда  $v > \lambda_0^{**}$  ( $\lambda_0^{**}$  зависит от скорости вращения), структура наблюдаемого изобра-

жения сохраняется, но оно как целое сдвигается в направлении вращения звезды. Фокальная полусось остается параллельной оси источник — линза, но несколько смещается в сторону. Коэффициент усиления линзы сохраняет прежнее значение. Для более коротких волн ( $\lambda < \lambda_0^*$ ), кроме смещения фокальной полуоси, происходит еще и насыщение коэффициента усиления.

Таким образом, любые нарушения симметрии поля тяготения звезды (а они всегда имеют место) уменьшают его фокусирующее действие и затрудняют обнаружение линзового эффекта. Граничные длины волн  $\lambda_0^*$  и  $\lambda_0^{**}$  зависят от конкретной ситуации. Например, для такой звезды, как Солнце, на расстоянии  $x = 10^{12}$  км, в соответствии с нашими расчетами<sup>6</sup>,  $\lambda_0^* \approx 10^{-2}$  см,  $\lambda_0^{**} \approx 10^{-8}$  см. При этом с удалением наблюдателя от линзы граничные значения длин волн уменьшаются, так как лучи проходят все дальше от звезды, где нарушения симметрии поля тяготения более слабые.

В свое время, оценивая возможность обнаружить гравитационную линзу, Эйнштейн писал: «...у нас мало шансов наблюдать это явление, даже если пренебречь ослепляющим действием света наиболее близкой звезды (линзы)»<sup>7</sup>. Этот вывод был сделан на основе предельно упрощенных результатов (геометрическая оптика в сферически симметричном поле тяготения). Выше мы показали, к чему приведет учет целого ряда реально существующих факторов, включая дифракцию и другие механизмы рассеяния лучей; все они снижают коэффициент усиления. Таким образом, более точные расчеты показывают, что обнаружить гравитационную линзу-звезду еще труднее, чем это представлялось Эйнштейну.

Однако еще в 1937 г. Ф. Цвикки обратил внимание на то, что роль линзы могут играть не только отдельные звезды, но и целые галактики. В этом случае все масштабы резко возрастают и вместо очень острых «игл» возникнут довольно протяженные области фокусировки, в которых Земля может находиться длительное время. Важно, что угловые расстояния между изображениями источника и линзой на-

столько увеличиваются, что они оказываются в пределах разрешающей способности современных оптических и радиотелескопов.

Возникает вопрос: отличается ли структура изображений, наблюдаемых через галактическую линзу, от изображений, формируемых звездой-линзой? Если звезду можно рассматривать как компактное образование с небольшими отклонениями от сферической симметрии, то галактика представляет собой протяженный объект сложной формы с заранее неизвестным распределением массы. Отсюда и возникают отличия в изображениях, формируемых звездной и галактической линзами. В общем случае эти отличия тем сильнее, чем ближе к галактике проходят преломленные лучи. Здесь следует повторить все то, что говорилось о несимметричных гравитационных линзах-звездах. В частности, можно наблюдать несколько (более двух) изображений далекого источника. Кроме того, надо учесть, что в отличие от звезды галактика в определенной степени прозрачна для падающего на нее излучения. Поэтому, наряду с «внешними» изображениями источника, могут появиться и «внутренние», видимые как бы внутри галактики. Правда, «внутренние» изображения должны быть сильно деформированы и ослаблены из-за рассеяния на внутригалактических неоднородностях.

Существует еще один класс массивных объектов, которые необходимо рассмотреть в связи с гравитационной фокусировкой. Речь идет о черных дырах. Их характерная особенность — концентрация всей массы в столь малом объеме, что характерные параметры лучей могут быть равны или почти равны гравитационному радиусу тела. В этом случае углы преломления уже нельзя рассчитывать по приведенной выше формуле (она справедлива только для слабых полей тяготения). Как известно, в окрестности черной дыры гравитационное поле чрезвычайно велико, и это приводит к очень интересным особенностям. Становятся возможными, например, траектории лучей, полностью огибающие центр тяготения, даже «захват» луча на круговую орбиту. Однако рассмотрение линзового эффекта, возникающего в таких условиях, выходит за рамки данной статьи. Мы лишь отметим, что для лучей, проходящих на достаточно больших расстояниях от черной дыры ( $\rho \gg r_g$ ), свойства гравитационной линзы ничем не будут отличаться от тех, с которыми мы уже познакомились.

<sup>6</sup> Минаков А. А. О коротковолновой границе гравитационной фокусировки в связи с несферичностью поля тяготения звезды. — Астрон. ж., 1978, т. 55, с. 966; Он же. Влияние вращения звезды на гравитационную фокусировку электромагнитного излучения. — Изв. высш. уч. зав. Радиопизика, 1981, т. 24, с. 383.

<sup>7</sup> Эйнштейн А. Цит. соч., с. 436.

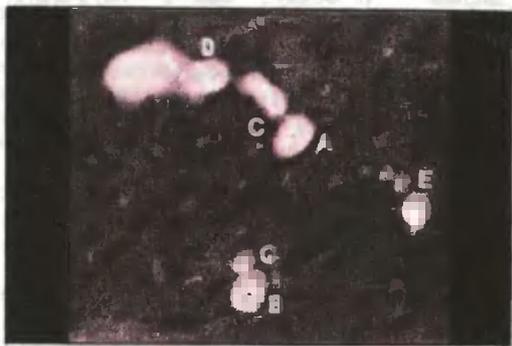
## КАК УДАЛОСЬ ОБНАРУЖИТЬ ГРАВИТАЦИОННЫЕ ЛИНЗЫ

Все началось с совместных исследований двух английских (Д. Уолш, Р. Карсвелл) и одного американского (Р. Вейман) астрономов<sup>8</sup>. Они вели поиск звездоподобных объектов, расположенных на небосводе в тех местах, где ранее были обнаружены «точечные» радиоисточники. Такие наблюдения проводятся регулярно и имеют вполне определенную цель. Подобным образом находят квазары — объекты, расположенные на очень далеких расстояниях. Участвуя в расширении Вселенной, квазары удаляются от нас с огромными скоростями, благодаря чему линии в их спектре сильно смещены в красную сторону. Этот сдвиг называется красным смещением  $Z$ ; по нему определяют скорость движения источника и его расстояние до Земли: чем больше красное смещение, тем быстрее удаляется и дальше находится от нас наблюдаемый объект. Квазары имеют самые большие красные смещения.

Уолш, Карсвелл и Вейман исследовали радиоисточник 0957+561 А, В (цифры означают экваториальные координаты, а буквы указывают на наличие двух компонентов — А и В). В том же месте расположены две слабые звезды 17-й величины. 29 марта 1979 г. были получены оптические спектры этих звезд, и предположение о том, что это квазары, подтвердилось. Измерения показали, что оба компонента (в дальнейшем их стали называть «близнецами») имеют одинаковое красное смещение  $Z=1,4$ , которому соответствует скорость удаления свыше 200 000 км/с.

Как будто ничего особенного не произошло: искали квазар, а нашли сразу два. Но оказалось, что компоненты обнаруженной пары, как и полагается настоящим близнецам, имеют удивительно схожие свойства. Прежде всего, они расположены совсем рядом — угловое расстояние между ними составляет всего 6". Других столь близких пар ранее известно не было, хотя уже открыто свыше тысячи квазаров. Самое же необычное заключалось в спектрах «близнецов», которые похожи друг на друга даже в деталях (это относится к спектрам как излучения, так и поглощения). Такое совпадение спектров, естественно, наводило на мысль о связи компонентов А и В.

Мнения астрофизиков разделились. Одни считали «близнецов» парой близких друг к другу гравитационно связанных квазаров, другие выдвинули смелое предположение, что в данном случае наблюдается эффект гравитационной фокусировки. Какие же трудности возникли у сторонников различных предположений? Примерное равенство красных смещений линий поглощения и излучения свидетельствовало о том, что облака, в которых и происходит поглощение света, расположены где-то вблизи источников и их скорости



Радиокарта неба в области двойного квазара. Наряду с «близнецами» (детали А и В) видны дополнительные источники (детали С, D, E) и предполагаемая линза-галактика (G). Угловое расстояние между А и В составляет 6".

относительно Земли также близки к 200 000 км/с. Отличие же в скоростях поглощающих облаков для компонентов А и В оказалось очень малым — всего 150 км/с. Поэтому можно было предположить, что световые лучи, идущие к нам от компонентов А и В, проходят по пути через одно и то же облако. Но для этого требуется, чтобы облако было очень большим, больше расстояния между двумя источниками.

Не вдаваясь в подробности, заметим, что такое объяснение наталкивается на значительные трудности из-за огромных размеров облака. Поэтому астрономы все более склоняются к мнению, что два источника — это кажущийся эффект, на самом же деле существует только один источник, а раздвоение его изображения произошло под действием гравитационной линзы. Если это предположение соответствует истине, то идентичность спектров А и В не требует дополнительного объяснения.

Однако гипотеза гравитационной линзы нуждалась в проверке. Прежде всего

<sup>8</sup> Walsh D., Carswell R., Weyman R. 0957+561 A, B: twin quasistellar objects or gravitational lens? — Nature, 1979, v. 279, p. 381; см. также: Природа, 1980, № 10, с. 107.

следовало убедиться, что «близнецы» остаются «близнецами» не только в оптическом, но и в других диапазонах электромагнитного излучения. И, кроме того, необходимо было обнаружить саму линзу. С помощью телескопов, использовавшихся первоначально, такую проверку выполнить было нельзя, но как раз к этому моменту вступили в строй новые, более совершенные инструменты, работающие в оптическом, инфракрасном и радиодиапазонах.

Вначале были уточнены оптические спектры; с этой целью на новом многозеркальном телескопе Смитсоновской астрофизической обсерватории (США) установили спектрограф. Этот телескоп имеет не одно, а 6 зеркал диаметром 1,8 м каждое и по своей разрешающей способности занимает третье место в мире. Уточненные спектры показали, что разность скоростей, соответствующая линиям поглощения двух компонентов, составляет не 150, а всего 15 км/с. Почти полное совпадение скоростей подкрепило гипотезу гравитационной линзы, но дальнейшие оптические измерения пришлось временно отложить, так как летом условия наблюдения «близнецов» ухудшаются (в связи с сокращением углового расстояния между Солнцем и Большой Медведицей).

Радиоастрономы, однако, могли продолжать работу, и им удалось получить очень интересные данные с помощью радиотелескопа "VLA" (Very Large Array — очень большая решетка), который также представляет собой многозеркальный инструмент. В нем используется 27 параболаидов диаметром 25 м, расположенных в виде буквы  $\gamma$ . Наибольший размер  $\gamma$  равен 21 км, что обеспечивает разрешающую способность, конкурирующую с лучшими оптическими телескопами. Была получена радиокарта источника 0957+561 А, В, снятая на волне  $\lambda=6$  см. В радиодиапазоне компоненты А и В имеют не столь схожие структуры, как в оптике, поскольку в окрестности А обнаружены какие-то дополнительные детали. Возможно, они никак не связаны с квазарами и лишь случайно видны в той же части неба, но такое предположение несколько искусственно. Трудности же объяснения наблюдаемой радиоструктуры на основе эффекта гравитационной фокусировки заключались прежде всего в полном отсутствии данных о гравитационной линзе. Вот почему остро встал вопрос об обнаружении самой линзы.

Ее обнаружили осенью 1979 г., как только условия оптических наблюдений снова стали благоприятными. Оказалось,

что раздвоение изображения, возможно, производит эллиптическая галактика, которая видна как объект 19-й звездной величины, т. е. в несколько раз более слабый, чем «близнецы». Эту галактику сфотографировали почти одновременно в двух обсерваториях: одна находится в США, а вторая, недавно вступившая в строй, расположена на Гавайских о-вах, на вершине вулкана Мауна-Кеа, на высоте 4200 м, где высокая прозрачность и однородность атмосферы позволяет вести наблюдения не только в оптических, но и в инфракрасных лучах.

Красное смещение галактики-линзы сравнительно невелико ( $Z \approx 0,39$ ). Следовательно, она расположена намного ближе к Земле, чем квазар. Изображение линзы почти сливается с компонентом В, и на радиокarte образует небольшой выступ, который обозначен буквой G. Положение линзы резко асимметрично по отношению к двум изображениям, что создавало некоторые трудности при объяснении данных наблюдений с точки зрения эффекта фокусировки. Для компактной линзы потоки излучения компонентов А и В должны были бы сильно отличаться друг от друга, но, согласно измерениям, они оказались почти одинаковыми. Для объяснения такого соотношения потоков пришлось привлечь к рассмотрению сложные модели распределения массы внутри линзы. Кроме того, дальнейшие наблюдения американских астрономов показали, что галактика G является членом большого скопления, состоящего из 146 галактик. Центр яркости этого скопления смещен на  $23''$  к западу от компонента В. В расчетах учитывалось влияние полей тяготения и этих галактик<sup>9</sup>.

Убедительным аргументом в пользу гипотезы гравитационной линзы явилось бы обнаружение временного запаздывания в изменениях яркости компонента В по сравнению с А, возникающего из-за различия во времена прохождения излучения в двух направлениях. Для упомянутого выше галактического скопления запаздывание должно составлять примерно 5 лет. Регулярные измерения, проводимые в различных обсерваториях, в том числе и на крупнейшем в мире 6-метровом телескопе АН СССР, расположенном в ст. Зеленчукская, показали, что яркости компонентов действительно изменяются, но факт вре-

<sup>9</sup> Young P. et. al. Q0957+561: Detailed models of the gravitational lens effect. — *Astrophys. J.*, 1981, v. 244, p. 736.

менного запаздывания пока не установлены<sup>10</sup>.

Интересно обсудить еще вопрос о «внутреннем» изображении источника, просвечивающего через галактику-линзу. Так как оно должно находиться где-то вблизи компонента В, для его обнаружения необходимо инструмент с разрешающей способностью в десятые или даже сотые доли угловой секунды. Осенью 1979 г. радиоструктура «близнецов» была исследована с помощью межконтинентального интерферометра<sup>11</sup>. Измерения проводились на волне 6 см синхронно на двух радиотелескопах: один из них диаметром 43 м находится в обсерватории Грин Бэнк (США), а второй со 100-метровым зеркалом — в Эффельсберге (Институт астрофизики им. М. Планка, ФРГ). Огромная длина базы — от Америки до Европы — обеспечивает очень высокую разрешающую способность. Тем не менее «внутреннее» изображение не было обнаружено, хотя угловые размеры компонентов А и В по результатам наблюдений оказались равными примерно 0,001. Таким образом, вопрос остается пока открытым. В дальнейшем предполагается продолжить исследования с помощью телескопа, выведенного на околоземную орбиту; где вредное влияние атмосферы будет исключено и можно будет получить детальное оптическое изображение источника.

Сообщение об обнаружении гравитационной линзы послужило толчком к дальнейшим исследованиям. Наряду с теоретическими работами начались целенаправленные поиски многокомпонентных квазаров, которые также могли свидетельствовать о действии гравитационных линз. К настоящему времени уже найдены два тройных квазара<sup>12</sup>. Возможно, и здесь проявляется линзовый эффект, хотя для такой интерпретации приходится прибегать к довольно искусственным моделям линз.

Читателю может показаться странным, почему многие обсерватории мира с таким энтузиазмом включились в поиск гравитационных линз. Ведь искривление световых лучей в поле тяготения — хорошо установленный и многократно наблюдавшийся эффект. Следовательно, сомневаться

в существовании гравитационных линз нет никаких оснований. Что же нового дают тогда проводимые эксперименты? Во-первых, до тех пор пока линза не была обнаружена, следовало признать, что не все выводы теории проверены и подтверждены наблюдениями. Теперь это белое пятно почти исчезло. Во-вторых, здесь, по-видимому, скрываются и немалые возможности для будущих исследований. Дело в том, что анализ изображений, наблюдаемых сквозь гравитационную линзу, позволяет, в принципе, оценить ряд очень важных астрономических параметров как самой галактики-линзы, так и источника излучения — далекого квазара. Возможно, таким образом удастся осуществить прямые измерения внегалактических расстояний, уточнить тонкую структуру ядер галактик и квазаров.

Итак, можно сказать, что в природе существуют универсальные «телескопы-рефракторы», для которых линзами служат массивные небесные тела и даже целые галактики. Они способны фокусировать волны любой природы (электромагнитные, гравитационные), а также потоки частиц, включая нейтрино. Согласитесь, стоит потрудиться, чтобы научиться работать с такими инструментами!

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Блиох П. В.** КОСМИЧЕСКИЕ ЛИНЗЫ. М.: Знание, 1975.

**Кауфман У.** КОСМИЧЕСКИЕ РУБЕЖИ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. М.: Мир, 1981.

<sup>10</sup> Муханов В. Ф. Двойной квазар Q0957 + 561А, В — гравитационная линза? — Успехи физ. наук, 1981, т. 133, с. 729.

<sup>11</sup> Подробнее об этом методе см.: Матвеевко Л. И. Сверхдальняя радиоинтерферометрия. — Природа, 1982, № 7.

<sup>12</sup> Природа, 1981, № 10, с. 101; 1982, № 10, с. 105.

## Ползучесть неоднородно-стареющих тел

Н. Х. Арутюнян



Нагуш Хачатурович Арутюнян, академик АН Армянской ССР, заведующий лабораторией механики вязкоупругих тел Института проблем механики АН СССР. Один из создателей теории ползучести бетона (известной в научной литературе как теория Маслова — Арутюняна). В настоящее время занимается теорией ползучести неоднородно-стареющих сред и математической теорией упругости. Автор монографий: Некоторые вопросы теории ползучести. М.— Л., 1952; Кручение упругих тел (совместно с Б. Л. Абрамяном). М., 1964.

Считая твердое тело абсолютно упругим, мы полагаем, что если материал этого тела выдерживает некоторое напряжение, то он сможет его выдержать бесконечно долго, причем деформации в нем постоянны во времени и при снятии нагрузки полностью обратимы. Однако в реальных ситуациях эти утверждения лишь относительно справедливы. Все материалы под действием постоянной нагрузки медленно деформируются с течением времени. В механике это явление называется ползучестью.

Ползучести подвержены грунты, горные породы, лед. Среди материалов, используемых в инженерной практике, особенно заметно она выражена у бетона, древесины, металлов при высоких температурах, пластмасс и полимеров. Опыты по изучению реологических (т. е. развивающихся во времени) свойств таких материалов показали, что деформации ползучести в них наблюдаются при любых напряжениях, даже таких, которые при кратковременном действии могут вызвать только упругие деформации. В то же время тела, изготовленные из упомянутых материалов, (в отличие от упругих тел) обладают свойством релаксации: при постоянно поддерживаемых деформациях напряжения в них с течением времени уменьшаются.

Таким образом, ползучесть и релаксация представляют собой комплекс явлений, связанных с влиянием времени на зависимость между напряжениями и деформациями в твердом теле.

Явление ползучести обнаружил в 1835 г. В. Вебер в опытах по воздействию постоянного крутящего момента на кварцевые нити. В этих опытах и дальнейших исследованиях выявилось удивительное для неживой материи свойство «запоминать» различные воздействия, которые она испытала в прошлом.

Естественно, что с помощью идеальной упругой или вязкой модели нельзя было описать поведение материалов, обладающих ползучестью, поскольку им присущи одновременно свойства как упругости, так и вязкости. В силу этого стала очевидной необходимость построения более общей теории, в которой поведение твердого деформируемого тела определялось бы не только текущим напряженным состоянием, но и всей историей его нагружения.

Такую теорию, основанную на принципе наследственности, предложил Л. Больцман в 1874 г. А еще через три с половиной десятилетия, в 1909 г., итальянский математик В. Вольтерра значительно развил эту теорию математически, в частности, распространив ее на анизотропные

тела, и назвал ее наследственной теорией упругости.<sup>1</sup>

Однако долгое время наследственная теория упругости на вызвала особого интереса из-за отсутствия реальных технических приложений. Положение изменилось, когда она была распространена на так называемые стареющие материалы (в частности, бетон и железобетон).<sup>2</sup> Теория ползучести стареющих материалов стала успешно применяться в механике горных пород, композиционных материалов и, особенно, при расчетах бетонных и железобетонных сооружений (плотин, массивных блоков, корпусов реакторов). Оказалось, что линейная теория ползучести хорошо описывает поведение многих полимеров при умеренных напряжениях, которые обычно допускаются в конструкциях из этих материалов. Были обнаружены и другие области приложения этой теории, которая затем была развита в многочисленных публикациях как советских, так и зарубежных авторов.

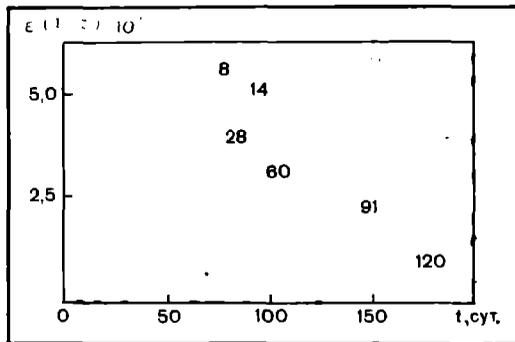
Однако следует отметить, что хотя большинство достижений в развитии теории ползучести и методов решения новых задач относится к сравнительно недавнему времени, идейная сторона теории, особенно для линейного и изотропного случая, в своей основе восходит, с одной стороны, к основополагающим концепциям Больцмана — Вольтерры, а с другой — к реологическим моделям Дж. Максвелла и В. Фойхта, которые качественно правильно описывали ползучесть и релаксацию в реальных телах. Таким образом, новые концепции теории ползучести развиваются, не разрушая прежних представлений, а, наоборот, совершенствуя их. Старые закономерности, заменяясь новыми, продолжают жить в качестве частных или предельных случаев.

## СТАРЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Стареющие материалы, к которым относятся перечисленные выше бетон, дре-

весина, многие полимеры и пластмассы, горные породы и др., характерны тем, что их физико-механические свойства меняются во времени, т. е. зависят от возраста материала.

Процесс старения таких материалов происходит в результате протекающих в них физико-химических превращений — как естественных, так и вызываемых различного типа воздействиями (температурными, радиационными и т. д.). При этом обычно считают, что старение не зависит от процесса деформации.



Экспериментальные кривые ползучести бетона различного возраста  $\tau$  (возраст в сутках указан на кривых);  $e(t, \tau)$  — деформация ползучести к моменту времени  $t$  при одноосном напряженном состоянии под действием единичной нагрузки, приложенной в возрасте  $\tau$ .

Кроме того, большинство стареющих материалов обладает свойством ограниченной ползучести — т. е. под действием длительной нагрузки деформируются во времени лишь до определенного предела. Причем мера ползучести существенно зависит от возраста материала.

Следует отметить еще одну особенность поведения материалов, подверженных старению: в то время как деформация ползучести металлов практически необратима,<sup>3</sup> у большинства стареющих материалов деформация ползучести необратима лишь частично. При этом доля «невозвращенной» деформации в значительной степени зависит от возраста материала в момент разгрузки и от интенсивности процесса старения.

Если во всех элементах тела старение протекает одинаково, то такое тело являет-

<sup>1</sup> В современной литературе термин «наследственная упругость» часто заменяют термином «вязкоупругость» или «ползучесть». По мере необходимости мы будем пользоваться как той, так и другой терминологией.

<sup>2</sup> Маслов Г. Н. Термическое напряженное состояние бетонных массивов при учете ползучести бетона. — Изв. НИИГ, 1941, т. 28; Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. М.— Л., 1952. Обзор работ по теории ползучести имеется в статье: Арутюнян Н. Х. Ползучесть стареющих материалов. Ползучесть бетона. — В сб.: Механика в СССР за 50 лет. Т. 3. М., 1972.

<sup>3</sup> Работнов Ю. Н. Теория ползучести. — В сб.: Механика в СССР за 50 лет. Т. 3. М., 1972.

ся однородно-стареющим: все его элементы имеют одинаковый возраст. Однако технология возведения и изготовления реальных конструкций из стареющих материалов неразрывно связана с процессом их дискретного или непрерывного наращивания элементами, изготовленными в различные моменты времени. Это происходит при последовательном возведении и загрузке сооружения, в растущих телах и объектах и т. п. Тогда мы имеем дело с неоднородно-стареющими телами. Они характерны тем, что возраст их элементов зависит от пространственных координат. Можно говорить о возрастной неоднородности другой природы, когда тело подвергается воздействию неоднородного внешнего поля (например, температурного) и поэтому процесс старения протекает неодинаково во всех его элементах. Тогда эффективный возраст элементов будет зависеть от характеристик внешнего поля, а следовательно от пространственных координат, как и в предыдущем случае.

Учет возрастной неоднородности на основе теории ползучести неоднородно-стареющих тел позволяет получить более полную информацию о напряженно-деформированном состоянии реальных конструкций, а следовательно и об их прочности и долговечности<sup>4</sup>.

### НАРАЩИВАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ ТЕЛ, ПОДВЕРЖЕННЫХ СТАРЕНИЮ

Проиллюстрируем несколькими примерами результаты применения теории ползучести неоднородно-стареющих тел.

Рассмотрим, прежде всего, некоторые особенности формирования напряжений в непрерывно наращиваемом (в горизонтальном направлении) вязкоупругом призматическом теле, подверженном старению. Будем считать, что процесс наращивания происходит симметричным образом, так что в теле возникает одноосное напряженное состояние, а поперечные сечения остаются плоскими и не поворачиваются. Закон наращивания, т. е. закон изменения площади поперечного сечения тела во времени, задан. Задан и закон изменения нагрузки, действующей на тело<sup>5</sup>.

В инженерной практике такие задачи встречаются, когда бывает необходимо усилить призматическую колонну ввиду того, что увеличилась действующая на нее нагрузка или в процессе эксплуатации образовались ослабившие колонну повреждения.

Нас интересовали поля напряжений и деформаций в таком теле при медленной скорости наращивания (когда процесс завершается в течение 100 сут.) и при скорости наращивания, в пять раз большей, чем предыдущая (процесс длится 20 сут.). При сравнении полученных результатов выявилось любопытное явление. Оказывается, что при постоянной нагрузке напряжения в некотором фиксированном элементе наращиваемой части тела при таком различии в скоростях могут отличаться в десятки раз. Причем, если этот элемент близок к поверхности исходного тела, то напряжения в нем при медленном наращивании будут больше, чем при быстром. Если же он достаточно далек от поверхности (на расстоянии порядка характерного размера исходного тела), то ситуация обратная: предельное напряжение (при  $t \rightarrow \infty$ ) в этом элементе при быстром наращивании может оказаться в 15—20 раз больше, чем при медленном<sup>6</sup>.

Было также исследовано напряженно-деформированное состояние неоднородно-стареющих тел более сложной конфигурации: полых цилиндра и шара, бесконечного клина, конечной полосы. Ряд новых механических эффектов обнаружен и в случае, когда рассматриваемые наращиваемые тела находились под действием не постоянной, а изменяющейся во времени нагрузки. И здесь выявилась существенная зависимость поля напряжений от скорости возведения тел и загрузки. Характер этой зависимости определяется геометрией рассматриваемых тел и их упругими и реологическими свойствами. Например, кажется естественным, что при увеличивающейся нагрузке напряжения в исходном теле должны возрастать на протяжении всего периода возведения и загрузки. Однако оказалось, что это имеет место только при быстром наращивании тела. При более мед-

<sup>4</sup> Арутюнян Н. Х. Некоторые задачи теории ползучести для неоднородно-стареющих тел.— Изв. АН СССР. Мех. тв. тела, 1976, № 3; Он же. Краевая задача теории ползучести для наращиваемого тела.— Прикл. мат. и мех., 1977, т. 41, вып. 5.

<sup>5</sup> Арутюнян Н. Х., Метлов В. В. Некоторые задачи теории ползучести для наращиваемых тел, подверженных старению.—

Изв. АН АрмССР. Механика, 1982, № 3; Он же. Некоторые задачи теории ползучести неоднородно-стареющих тел с изменяющейся границей.— Изв. АН СССР. Мех. тв. тела, 1982, № 5.

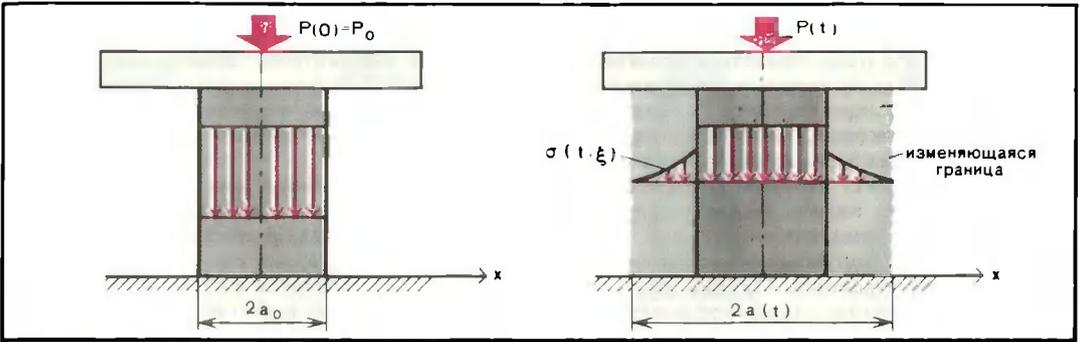
<sup>6</sup> Здесь и далее количественные оценки приводятся для некоторых видов бетона с характерными временами ползучести и старения (когда эти процессы протекают наиболее интенсивно) порядка 100 сут.

ленном возведении после незначительного интервала возрастания напряжения в исходном теле уменьшаются в течение почти всего времени наращивания. Наконец, при еще более медленном наращивании, начиная с некоторого момента времени, напряжения вновь начинают возрастать. При этом максимальные напряжения, образующиеся во всех этих случаях в конце процесса возведения и загрузки, немонотонно зависят от скорости этого процесса и могут отличаться в несколько раз.

Заметим, что в отсутствие ползучести

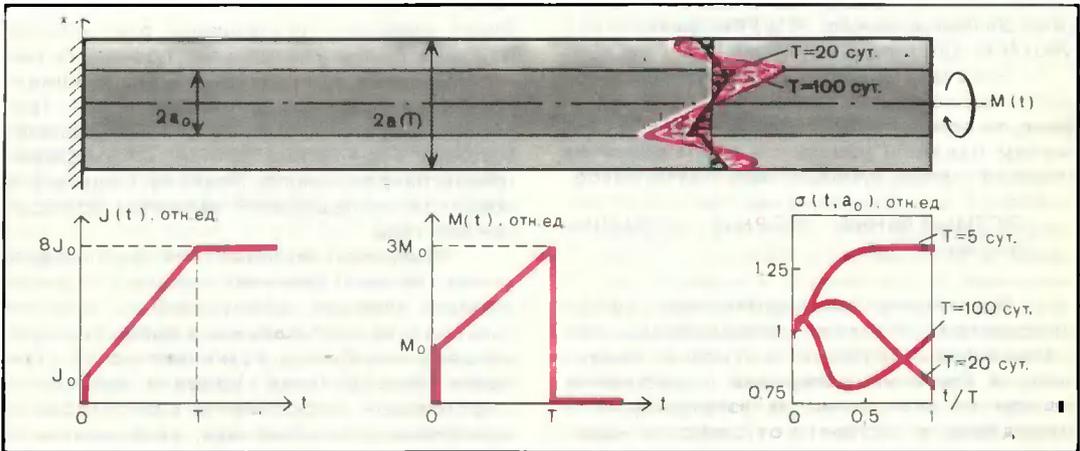
и старения у наращиваемого тела напряжения в нем не зависят от скорости его возведения и загрузки.

Предположим, что по завершении процесса наращивания и загрузки тела нагрузка полностью снимается. Тогда, несмотря на отсутствие внешних воздействий, в нем останутся значительные внутренние напряжения, которые принято называть остаточными. Это присуще как наращиваемым, так и просто неоднородно-стареющим телам. Вследствие ползучести остаточные напряжения изменяются с течением



Наращивание подвергнутого старению призматического вязкоупругого тела, находящегося под действием нагрузки  $P(t)$ . Слева — исходное тело и поле напряжений в нем (показано стрелками). Справа — то же тело после наращивания. В этом случае поле напряжений  $\sigma(t, \xi)$ , в элементе нара-

щиваемого тела зависит не только от текущего момента  $t$ , но и от момента зарождения  $\xi$  этого элемента. На рисунке показано, как перераспределяется напряжение между основным телом и его наращиваемой частью к моменту времени  $t$  при постоянной силе  $P_0$ .



Наращивание конечной полосы, находящейся под действием изгибающего момента  $M(t)$  — вверху. Характер изменения напряжения  $\sigma(t, a_0)$  в фиксированном элементе исходной полосы ( $x=a_0$ ) существенно зависит от длительности ее наращивания  $T$  (т. е. от скорости этого процесса) — внизу справа.

Результаты приведены для случая, когда нагрузка  $M(t)$  и момент инерции тела  $J(t)$  растут линейно. Распределение предельных остаточных напряжений [при  $t \rightarrow \infty$ ] в полосе после снятия нагрузки также зависит от скорости наращивания (кривые на рисунке вверху).

времени, стремясь к некоторым предельным значениям. Характер изменения остаточных напряжений со временем в различных элементах тела, как и их предельные значения, существенно зависит от степени возрастной неоднородности. Расчеты показывают, что остаточные напряжения в элементах, например, конечной полосы, могут отличаться в 5—10 раз при изменении времени ее наращивания от 5 до 100 сут.

Остановимся еще на одном аспекте влияния ползучести и неоднородного старения материала на напряженно-деформированное состояние в инженерных сооружениях.

Известно, что в реальных конструкциях различного рода полости и включения являются концентраторами напряжений. В окрестности концентраторов развиваются опасные напряжения, которые создают различные дефекты, выводящие из строя всю конструкцию. Поэтому практически важной является задача оценки величины напряжений на концентраторе.

В теории упругости такие задачи давно стали классическими. Однако учет ползучести и возрастной неоднородности материала сооружений вносит существенные изменения в величину напряжений на концентраторе в момент приложения нагрузки, которые определяются на основе теории упругости.

Так, например, если вблизи сферической или круговой полости находится более старый материал, то напряжение на полости с течением времени увеличивается (иногда более чем на 30%) по сравнению с упругим однородным телом.

Если же, наоборот, в окрестности полости находится наиболее молодой материал, то концентрация напряжений со временем падает и начальное напряжение на полости может уменьшиться почти вдвое.

### ОПТИМАЛЬНЫЕ ФОРМЫ НАРАЩИВАЕМЫХ ТЕЛ

Мы видели, что напряженно-деформированное состояние наращиваемых тел и элементов сооружений в условиях ползучести и старения материала существенно зависит от технологии их изготовления и возведения, в частности от скорости наращивания, которая определяет не только закон нагружения, но и возрастную неоднородность в этих телах и элементах сооружений. Отмеченные факторы оказывают значительное влияние на оптимальные характеристики рассматриваемых тел и сооружений.

При постановке задач оптимизации сооружения необходимо выбрать оптимизируемый функционал, варьируемые параметры и величины, на которые должны быть наложены те или иные ограничения. Оптимизируемый функционал описывает те характеристики сооружения, которые в ходе оптимального проектирования должны быть выбраны наиболее целесообразно. В этой роли могут выступать объем сооружения, его форма, характеристики прочности или жесткости, скорость или время возведения и т. д. Они же могут быть и варьируемыми параметрами, а также величинами, на которые накладываются соответствующие ограничения.

Мы рассмотрим задачу нахождения оптимальной формы наращиваемой армированной колонны в условиях ползучести и неоднородного старения основного материала<sup>7</sup>.

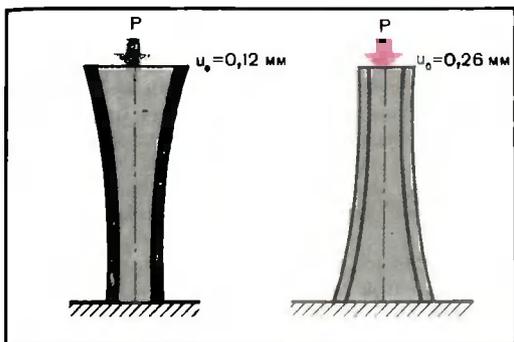
Однако, прежде чем перейти к ее изложению, сделаем небольшое отступление. Для чего армируется основной материал сооружения, например бетон? Бетон плохо сопротивляется растяжению и сравнительно хорошо работает на сжатие. Поэтому его определенным образом «начинают» металлическими стержнями (изготовленными, как правило, из особой арматурной стали), преимущественно работающими на растяжение. В результате у бетона повышается прочность и трещиностойкость. Если арматура ставится под натяжением, то бетон оказывается сжатым (предварительно напряженным) в тех зонах, которые будут особенно подвержены растяжению. Это еще более увеличивает прочность железобетонных конструкций и их трещиностойкость. В настоящее время в нашей стране используется около 200 млн м<sup>3</sup> железобетона в год, из них 30 млн м<sup>3</sup> предварительно напряженного. Поэтому чаще всего объектом исследований являются армированные тела.

Итак, пусть колонна (или группа однотипных колонн) заданной высоты  $l$  поддерживает тяжелое оборудование, чувствительное к ее вертикальному перемещению, которое неизбежно возникает после установки оборудования. Колонна возводится с постоянной скоростью  $v$ , равной объему армированного материала, укладываемого в единицу времени. Оборудование, создающее сжимающую нагрузку  $P$ , устанавливается через промежуток времени  $t_0$  после

<sup>7</sup> Арутюнян Н. Х., Зевин А. А. Оптимальная форма наращиваемой колонны.— Изв. АН СССР. Мех. тв. тела, 1981, № 5.

возведения колонны. Какова должна быть форма колонны, чтобы при заданном объеме  $V$  приращение перемещения  $u_0$  ее верхнего сечения к моменту времени  $t_1$  после приложения силы  $P$  было минимальным? (Эту задачу можно рассматривать и в другой постановке, когда оптимизируется объем колонны при условии, что приращение перемещения ее верхнего сечения не превосходит заданного значения.)

Оказывается, что на вид оптимальных форм армированной колонны существенно влияет скорость возведения, а следователь-



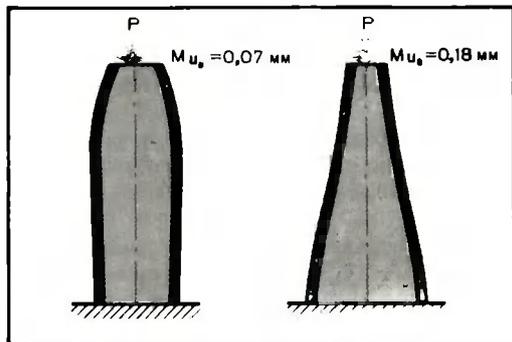
Оптимальные формы армированной колонны при детерминированном характере возведения ( $v = 1 \text{ м}^3/\text{сут}$  — слева,  $v = 50 \text{ м}^3/\text{сут}$  — справа). Арматура обозначена черными линиями [процент армирования  $\mu = 2\%$ ]; заданы объем  $[V = 125 \text{ м}^3]$  и высота  $[l = 12,5 \text{ м}]$  колонны, а также нагрузка  $[P = 2500 \text{ кН}]$ , действующая на тело. Перемещение верхнего сечения  $u_0$  при медленном возведении в два с лишним раза меньше, чем при быстром.

но — возрастная неоднородность колонны. Именно, при малой скорости возведения ( $v = 1 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) колонна должна быть построена резко расширяющейся кверху. При большой скорости ( $v = 50 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) сечение должно быть большим у основания. В этом случае собственный вес сооружения играет более существенную роль, нежели неоднородность материала. Любопытно отметить, что если колонна возводилась медленно, то при прочих равных условиях перемещение ее верхнего сечения в два с лишним раза меньше, чем при быстром возведении.

Была также определена оптимальная скорость возведения колонны, при которой ее форма мало отличается (в смысле среднего квадратичного отклонения) от цилиндрической. При  $V = 125 \text{ м}^3$  и  $l = 12,5 \text{ м}$  она оказалась равной  $7,62 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Изложенную выше задачу о нахождении оптимальной формы армированной наращиваемой колонны можно рассматривать и в более сложной постановке, когда скорость возведения не постоянна, а изменяется во времени по некоторому закону  $v(t)$ .

Однако в реальных ситуациях информация о процессе возведения конструкций (в рассматриваемом нами случае о скорости наращивания  $v(t)$ ) часто бывает неполной — процесс носит случайный характер. В этом случае для расчета конструкций це-



Оптимальные формы армированной колонны при случайном характере возведения [скорость наращивания  $v(t)$  представляет собой случайный марковский процесс двух состояний:  $v(t) = v_0$  и  $v(t) = 0$ ; результаты приведены для двух значений средней скорости  $\bar{v}$ :  $\bar{v} = 5 \text{ м}^3/\text{сут}$  — слева и  $\bar{v} = 30 \text{ м}^3/\text{сут}$  — справа]. Арматура обозначена черными линиями [процент армирования  $\mu = 2\%$ ]; объем колонны  $V = 125 \text{ м}^3$ , высота  $l = 12,5 \text{ м}$ , нагрузка  $P = 30 \text{ кН}$ . И в этом случае среднее перемещение верхнего сечения  $u_0$  при медленном возведении меньше, чем при быстром.

лесообразно использовать вероятностные методы.

Пусть, например, скорость возведения принимает два значения:  $v_0$  и 0 (колонна возводится с перерывами), причем длительности интервалов возведения и перерывов случайны и определяются заданным распределением вероятностей (такой случайный процесс называется марковским процессом двух состояний). В данной постановке задачи выбором наилучшей формы колонны минимизируется математическое ожидание  $Mu_0$  (т. е. вероятностное среднее) случайной величины  $u_0$  перемещения верхнего сечения колонны после приложения к ней сжимающей силы  $P$ .

Оптимальные формы наращиваемой колонны при детерминированном и случайном характере ее возведения существенно отличаются друг от друга. Так, в пер-

вом случае влияние возрастной неоднородности на оптимальную форму колонны больше, чем во втором. Кроме того, при случайной скорости возведения площадь поперечного сечения колонны изменится более плавно, что объясняется эффектом усреднения в минимизируемом функционале<sup>8</sup>.

Отметим, что влияние случайных остановок на оптимальную форму колонны существенно лишь, когда средняя длительность интервалов возведения и перерывов сравнима с характерным временем старения и релаксации основного материала колонны. В то же время, при очень коротких, пусть даже и частых, остановках процесса возведения влияние их на оптимальную форму сооружения уменьшается.

### УСТОЙЧИВОСТЬ НЕОДНОРОДНО-СТАРЕЮЩИХ ВЯЗКОУПРУГИХ АРМИРОВАННЫХ СТЕРЖНЕЙ

В повседневной жизни мы часто встречаемся с понятием устойчивости, и правильное интуитивное представление о том, что это такое, имеется у всех. Однако зачастую определения понятия устойчивости в двух смежных областях знаний заметно отличаются друг от друга. Именно это имел в виду Р. Беллман, говоря, что «устойчивость — сильно перегруженный термин с неустановившимся понятием»<sup>9</sup>. Поэтому, прежде чем изложить некоторые результаты по устойчивости неоднородно-стареющих вязкоупругих армированных стержней, напомним, что устойчивость — это одно из свойств движения системы, в частности состояния ее равновесия. Если при воздействии малых возмущений система отклоняется от своего невозмущенного состояния незначительно, то движение (или равновесие) считается устойчивым. Если же состояние системы не обладает этим свойством, то оно является неустойчивым. Такого определения, конечно, далеко не достаточно для решения конкретных задач об устойчивости движения или равновесия реальных механических систем: необходимо строгое математическое определение понятия устойчивости и создание на его основе теории устойчивости движения динамических систем.

Создание такой теории связано с именами многих выдающихся ученых — математиков, механиков и физиков. Однако современная общая теория устойчивости движения динамических систем на бесконечном интервале берет свое начало от фундаментальных работ А. М. Ляпунова.

Дальнейшее развитие теории устойчивости движения, обусловленное потребностями техники, расширило ее рамки и привело к теории устойчивости на конечном интервале времени. Первоначальная концепция устойчивости движения динамических систем на конечном интервале принадлежит Н. Г. Четаеву.

Теория устойчивости движения (в частном случае — равновесия) имеет важное практическое значение для многих областей техники, в частности для определения жесткости элементов конструкций, состоящих из армированных вязкоупругих стержней, подверженных старению, — разного рода ферм мостов, каркасов зданий и т. д.

Исследование устойчивости таких стержней при различных условиях закрепления концов стержней и способах их нагружения было проведено на основании соответствующих модификаций определения устойчивости по Ляпунову (на бесконечном интервале времени) и по Четаеву (на конечном интервале)<sup>10</sup>.

В предельном случае, когда рассматриваемые стержни можно считать упругими, полученное условие устойчивости переходит в известное условие упругой устойчивости Эйлера.

Остановимся подробнее на одном из простейших примеров эйлеровой устойчивости.

Рассмотрим шарнирно закрепленный с обоих концов стержень, на который вдоль оси действует сжимающая сила  $P$ . Очевидно, что условия задачи симметричны относительно вращения вокруг оси стержня. Соответственно, уравнения механики всегда допускают симметричное решение, описывающее напряженное состояние стержня, при котором он, однако, сохраняет свою прямолинейную форму.

Оказывается, если сила  $P$  превышает некоторую критическую величину  $P_{кр}^0$ , зависящую от формы поперечного сечения, длины и жесткости стержня, то существует и другое решение, описывающее

<sup>8</sup> Колмановский В. Б., Метлов В. В. Оптимальная форма армированной колонны, наращиваемой со случайной скоростью. — Изв. АН СССР. Мех. тв. тела, 1982, № 6.

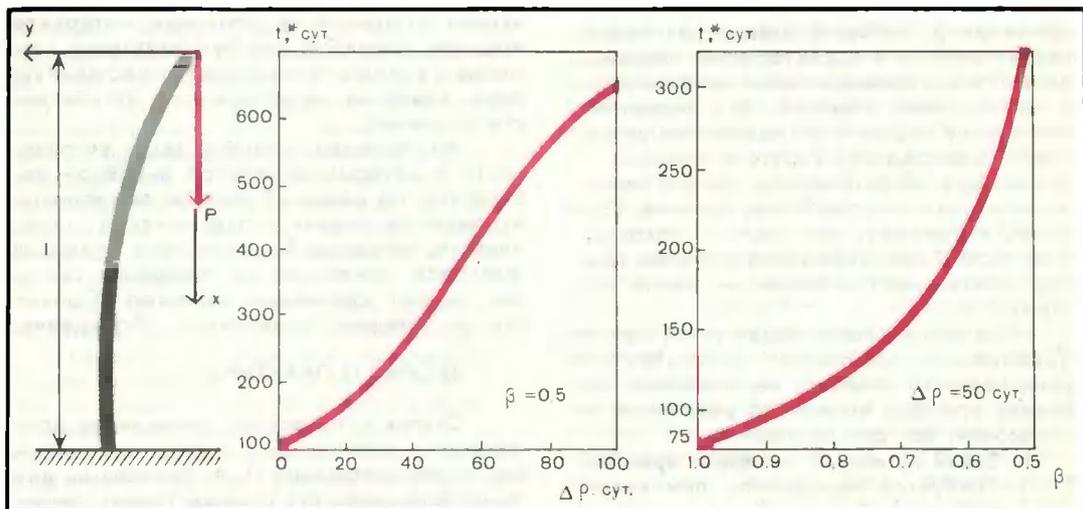
<sup>9</sup> Беллман Р. Теория устойчивости решений дифференциальных уравнений. М., 1954.

<sup>10</sup> Арутюнян Н. Х., Колмановский В. Б. Об устойчивости неоднородно-вязкоупругих армированных стержней. — Прикл. мат. и мех., 1981, т. 45, вып. 6.

изогнутое состояние стержня. Существование двух решений само по себе указывает на имеющуюся в системе неустойчивость. Подробное исследование (методом Ляпунова) показало, что при  $P > P_{кр}^0$  неустойчивым оказывается симметричное решение, т. е. прямолинейная форма стержня. Достаточно уже бесконечно малого возмущения (флуктуации), чтобы стержень перешел в изогнутое состояние, отвечающее минимуму потенциальной энергии деформации. Стержень при этом изгибается в какую-то определенную сторону, т. е. пе-

спонтанного нарушения симметрии, столь популярного ныне в квантовой физике. Здесь налицо характерные особенности спонтанного нарушения симметрии: существование некоторой критической точки, за которой симметричное решение становится неустойчивым, а основное состояние — вырожденным.

Однако вернемся к неоднородно-стареющим армированным стержням. Поскольку способы исследования устойчивости рассматриваемых стержней для различных ситуаций в идейном отношении



Стержень, составленный из двух одинаковых отрезков разного возраста, под действием сжимающей силы  $P$  — слева. Возрастная неоднородность стержня приводит к увеличению  $t^*$  — критического момента времени, когда максимальный прогиб стержня становится равным заранее заданному значению  $y^*$  (кривая зависимости  $t^*$  от разности возрастов  $\Delta \rho$  отрезков стержня). Увеличение армирования стержня, характеризуемого коэффициентом армирования  $\beta$  (иногда  $\beta=1$ , стержень неармирован), при фиксированном значении  $\Delta \rho$  также повышает  $t^*$  (кривая зависимости  $t^*$  от  $\beta$ ).

переходит в состояние, несимметричное относительно вращения. Куда же при этом исчезает начальная симметрия задачи? Она сохранилась в скрытом виде в том смысле, что мы не можем предсказать, в какую именно сторону изогнется стержень. Все эти направления равноправны, т. е. существует множество асимметричных решений, переходящих друг в друга при вращениях системы и обладающих одной и той же энергией.

Любопытно, что этот пример может служить классическим аналогом механизма

близки друг к другу, изложим задачу устойчивости на примере армированного неоднородно-стареющего вязкоупругого стержня, нижний конец которого закреплен, а верхний свободен и находится под действием сжимающей силы  $P$ .

В недеформированном состоянии стержень располагается вдоль оси  $x$ . Для определенности будем считать, что при деформации стержень изгибается в плоскости  $xy$ , так что величина его прогиба  $y(t, x)$  зависит от момента времени  $t$  и координаты  $x$ . Процесс деформирования такого стержня в условиях ползучести и неоднородного старения материала можно рассматривать как медленное движение на бесконечном интервале времени.

Тогда условие устойчивости для таких стержней можно сформулировать следующим образом. Стержень считается устойчивым, если любому малому значению максимальной начальной погиби стержня  $y_0(x)$  соответствует малое значение его максимального прогиба  $\sup y(t, x)$  для любого момента времени  $t$  на бесконечном интервале.

Такое определение условия устойчивости характерно тем, что оно не зависит от вида и структуры уравнений, которыми описывается процесс деформирования рассматриваемых стержней.

На основе сформулированного условия устойчивости и результатов решения конкретных задач установлено, что критическая сила<sup>11</sup> для неоднородно-стареющего вязкоупругого армированного стержня ( $P_{кр}^*$ ) равна произведению эйлеровой критической силы ( $P_{кр}^0$ ) для соответствующего неармированного упругого стержня с модулем упругости  $E$  основного материала и параметра  $\mu$ , который зависит от вязкоупругих свойств и характеристик старения основного материала, а также коэффициента армирования стержня. Это позволяет свести нашу задачу к исследованию устойчивости однородного упругого стержня — задаче как в теоретическом, так и в экспериментальном смысле более простой. (Заметим, к примеру, что опыты в условиях ползучести и неоднородного старения требуют длительного времени — около полугода.)

При исследовании задач устойчивости неоднородно-стареющего вязкоупругого армированного стержня на конечном интервале времени возможны различные их постановки. Вот две из них.

1. Задан конечный интервал времени  $[0, T]$ . Требуется определить, при каком условии (будем называть его условием устойчивости) прогиб  $y(t, x)$  неоднородно-стареющего вязкоупругого стержня при любых  $t$  не превосходит заданного критического значения  $y^*$ .

2. Известна величина  $y^*$  предельно допустимого значения прогиба  $y(t, x)$ . Требуется определить критический момент времени  $t^*$ , когда максимальное значение прогиба становится равным  $y^*$ .

Отметим, что приведенные выше условия устойчивости как на бесконечном, так и на конечном интервалах времени весьма естественны для многих реальных ситуаций. В самом деле, действие внешних сил может отклоняться от направления оси (например, под влиянием случайных факторов), что приводит к возникновению некоторой начальной погиби. Далее, сама ось стержня может не быть в точно-

сти прямолинейной за счет технологических несовершенств конструкции. При этом внешняя сила наряду со сжатием приводит к возникновению изгибающего момента. Кроме того, материал стержня может быть неоднородным, что приведет к его искривлению из-за разницы в укорачивании волокон стержня.

Учет этих факторов сводится к введению в уравнения возмущений различного типа.

Исследования устойчивости неоднородно-стареющих вязкоупругих армированных стержней на конечном интервале времени показали, что неоднородное старение и в этом случае играет существенную роль, влияя на характеристики устойчивости стержней.

Мы привели примеры задач устойчивости в детерминированной линейной постановке. Не меньший интерес представляет развитие теории стохастической устойчивости, поскольку большая часть реальных факторов, влияющих на поведение системы, имеют случайный характер. Однако это — предмет отдельного обсуждения.

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Статья «Упругость», написанная профессором Московского института инженеров путей сообщения П. А. Велиховым для Энциклопедического словаря Гранат, заканчивается такими словами: «При решении задач теории упругости встречаются огромные математические трудности, однако совместные усилия математиков, механиков, физиков и ученых-техников постепенно преодолевают эти трудности и теория упругости все более расширяет сферу своего воздействия как в области научных достижений, так и в области технических приложений. Той же теории упругости суждено стать главным орудием для окончательного освещения вопроса о внутреннем строении материи, и, бесспорно, она справится и с этой первейшей задачей мироздания, даже если для этого придется перестроить всю теорию и приспособить ее к изучению междучастичных сил, отказавшись от рабочей гипотезы о непрерывной среде». Эта статья была подготовлена около 70 лет назад. Давно уже стало ясно, что на основе теории упругости, да и вообще механики деформируемых сред, невозможно описать глубинную структуру материи. Однако она нашла в наши дни новые области приложения: в физике кристаллов, механике разрушения, геофизике. Для теории упругости и других на-

<sup>11</sup> Наименьшее значение сжимающей силы, при действии которой сформулированное выше условие устойчивости нарушается, называется критической силой. В данном случае предполагается, что сжимающая сила меньше эйлеровой критической силы для соответствующего армированного упругого стержня.

правлений механики, опирающихся на ее основополагающие концепции, все так же характерны черты, отмеченные проф. Велиховым. Велики математические трудности, встречающиеся при решении ее задач, а сфера технических приложений механики все расширяется.

Здесь было рассказано о некоторых результатах теории ползучести неоднородно-стареющих сред, развиваемой в последние годы. При постановке краевых задач этой теории связь деформаций, возникающих в неоднородно-стареющих телах, с напряжениями выражается интегральными операторами Вольтерры, ядра которых зависят от функции, определяющей закон неоднородного старения вязкоупругого тела. Точное решение таких задач возможно лишь в частных случаях, поэтому расчеты производятся преимущественно с помощью ЭВМ. В задачах устойчивости исследуются бесконечные системы дифференциальных уравнений. Методы теории случайных процессов применяются в задачах оптимизации.

Что касается технических приложений теории, то она пока только прокладывает себе путь в проектные организации. Однако основания для оптимизма у нас есть, поскольку теория ползучести с учетом процессов неоднородного старения имеет обширные потенциальные возможности применения там, где раньше использовалась теория ползучести с однородным старением. Примеров можно было бы привести множество — мы ограничимся несколькими.

Одной из важных задач теории ползучести, учитывающей старение материала, является расчет термонапряженного состояния массивных бетонных сооружений. Такие задачи приходится решать в гидротехнике при сооружении бетонных плотин, объем которых нередко составляет сотни тысяч и миллионы кубометров (например, объем бетона в арочной плотине Саяно-Шушенской ГЭС составляет 9 млн м<sup>3</sup>). В таких массивных бетонных конструкциях существенную роль могут играть экзотермические процессы, происходящие при затвердевании бетона. С учетом суровых климатических условий, в которых строится большинство наших крупных электростанций, роль температурных процессов в формировании напряжений в плотинах может быть огромной. В настоящее время при проектировании крупных бетонных плотин обязательно предусматривается комплекс мер по регулированию температурного режима с целью предотвращения опасного

образования трещин в бетоне. Подобные комплексы разрабатывались в свое время при проектировании плотин Братской, Красноярской, Усть-Илимской, Зейской и других крупных ГЭС. При обосновании таких комплексов использовался аппарат теории ползучести (в том числе учитывающей неоднородное старение бетона)<sup>12</sup>. Например, чтобы уменьшить температурные напряжения и избежать появления опасных температурных трещин (а также из конструктивных соображений), массивные бетонные сооружения возводятся отдельными частями — секциями и блоками, отделенными друг от друга постоянными или временными швами. Если расстояние между швами определять без учета ползучести бетона, то его пришлось бы делать слишком малым (например, равным 7—10 м вместо 15—20 м). Это сильно затруднило бы производство работ и привело бы к увеличению стоимости строительства.

Большое внимание уделяется сейчас строительству емкостей из предварительно напряженного железобетона, в частности корпусов энергетических ядерных реакторов. Предварительно напряжение обеспечивает трещиностойкость и герметичность конструкции. В проектируемых корпусах предусматривается дорогостоящая система регулировки усилий предварительно напряжения, которые, как предполагалось, могут существенно уменьшаться вследствие проявлений деформаций ползучести. Оценка этого явления производилась методом, основанным на теории ползучести бетона, применяемой совместно с результатами экспериментальных исследований упругого напряженно-деформированного состояния корпуса высокого давления. Оказалось, что влияние ползучести на усилие предварительного напряжения может быть учтено как для начального периода строительства, так и для всего времени эксплуатации сооружения. Это позволяет отказаться от применения постоянно действующих натяжных устройств и широко использовать более прогрессивный метод предварительного напряжения — метод навивки.

Теория ползучести широко используется при проектировании подземных

<sup>12</sup> Васильев П. И. К определению расстояний между температурными швами в бетонных плотинах. — Изв. Всесоюз. науч.-иссл. ин-ва гидротехники, 1960, т. 64, с. 33; Трапезников Л. П. Метод расчета температурной трещиностойкости бетона и кинетики температурных трещин в массивных бетонных гидросооружениях. — Гидротех. строит., 1981, № 7.

сооружений для расчета их напряженно-деформированного состояния в условиях ползучести окружающих пород, при расчетах железобетонных опор линий электропередач, мостов и других конструкций из стареющих материалов.

Соответствующие теоретические и экспериментальные исследования проводятся в Институте проблем механики АН СССР, в Институте механики АН Армянской ССР, в Московском инженерно-строительном институте имени В. В. Куйбышева, Всесоюзном НИИ гидротехники им. Б. Е. Веденеева и других организациях.

Сооружения, о которых мы рассказали, возводятся обычно в течение длительного времени и эффекты неоднородного старения играют в них важную роль. Их учет открывает новые возможности применения теории ползучести. В ряде ведущих проектных и исследовательских организаций с помощью теории ползучести неоднородно-стареющих материалов уже начали рассчитывать напряженно-деформированное состояние больших и средних железобетонных мостов.

Мы попытались рассказать об одном из направлений исследований в современной механике — теории ползучести стареющих тел, которая развивается и находит свое конкретное воплощение в мостах, плотинах, реакторах, разнообразных конструкциях, окружающих нас повсюду.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Работнов Ю. Н.** ЭЛЕМЕНТЫ НАСЛЕДСТВЕННОЙ МЕХАНИКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. М.: Наука, 1977.

**Надаи А.** ПЛАСТИЧНОСТЬ И РАЗРУШЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. Т. 2. М.: Мир, 1969.

**Ильюшин А. А., Победра Б. Е.** ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ТЕРМОВЯЗКОУПРУГОСТИ. М.: Наука, 1970.

**Болотин В. В.** О ПОНЯТИИ УСТОЙЧИВОСТИ В СТРОИТЕЛЬНОЙ МЕХАНИКЕ. — В кн.: Проблемы устойчивости в строительной механике. М.: Стройиздат, 1965.

**Кристенсен Р.** ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ВЯЗКОУПРУГОСТИ. М.: Мир, 1974.

**Struik L. C. E.** PHYSICAL AGING IN AMORPHOUS POLYMERS AND OTHER MATERIALS. Amsterdam, 1978.

# ПРИРОДА

## 2-Й ВСЕРОССИЙСКИЙ ВОЗДУХОПЛАВАТЕЛЬНЫЙ СЪЕЗД

На пасхальной неделе с 28 марта по 1-е апреля в Москву съехались на воздухоплавательный съезд теоретики воздухоплавания, военные и гражданские летчики, несколько конструкторов и просто любители этого человеческого умения.

Главная часть теоретических докладов, сделанных на съезде, исходила из московской школы проф. Жуковского и из петербургской школы проф. Боклевского.

Проф. Жуковский в настоящее время работает над вопросом об устойчивости аэроплана. Этот вопрос является одним из самых важных вопросов современного воздухоплавания. Он резко выдвинулся и на бывшей в Париже зимней выставке. И действительно, вопрос летания решен, но практика всецело зависит от искусства летчика, и всякий несовершенный маневр рулей в борьбе с капризной стихией влечет к катастрофе. Нужно так строить аэроплан, чтобы он был автоматически устойчивым, т. е. чтобы, выведенный из положения равновесия, он сам в него возвращался. Для этого проф. Жуковский предлагает использовать поток воздуха вдоль лодочки аэроплана и, заключив его в трубу, направить его на наклонную площадку, угол которой регулируется маятником.

Опыты, произведенные в лаборатории университета, дали вполне удовлетворительные результаты.

Доклады учеников проф. Жуковского показали, что в аэродинамических лабораториях университета и технического училища идет интенсивная коллективная работа по исследованию законов сопротивления воздуха, образования воздушных вихрей, столь пагубно отражающихся на летательных аппаратах и других свойствах воздушной среды. (...)

В той же лаборатории технического училища произволил опыты проф. С. А. Чаплыгин, выступивший на первом съезде с изложением своей в высшей степени интересной теоремы о влиянии формы крыла на его поддерживающую силу. На последнем съезде проф. Чаплыгин описал опыты с решетчатыми крыльями, поддерживающая сила которых оказалась выше, чем у крыльев Блерио таких же размеров. (...)

Доклады петербургской школы свидетельствуют, что работа в ней за три года ее существования вполне наладилась. Кроме теоретических исследований законов сопротивления воздуха, ряд наблюдений дал весьма ценные практические данные, о наилучших формах стоек, о формах винта, сравнительные таблицы сопротивления различных сортов дерева для разных частей аэроплана и т. п.

Таковы вкратце впечатления о некоторых моментах теоретической части съезда, которая, кстати сказать, распухла многих его членов, не имевших ясно выраженной симпатии к сложным математическим формулам.

1912

## Частицы космических лучей высоких и сверхвысоких энергий

Академик АН Казахской ССР  
Н. А. Добротин

24 ноября 1982 г. исполняется 90 лет академику Дмитрию Владимировичу Скобельцыну, выдающемуся советскому ученому и организатору науки. Научная деятельность Д. В. Скобельцына в основном посвящена исследованиям по физике космических лучей и физике высоких энергий.

Его достижения в этих областях науки отмечены высоким званием Героя Социалистического Труда, Ленинской премией [1982] и Государственной премией СССР [1951].

Многие годы Д. В. Скобельцын возглавлял такие ведущие научные центры, как Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР и НИИ ядерной физики МГУ, где создал школы

специалистов по физике атомного ядра и физике космических лучей. К одному из ее представителей, академику АН Казахской ССР Николаю Алексеевичу Добротину, редакция «Природы» обратилась с просьбой рассказать читателям о научном пути Д. В. Скобельцына и тех исследованиях, которые явились логическим продолжением работ, проводившихся Д. В. Скобельцыным и его учениками в Памирских экспедициях.

Редколлегия и редакция журнала поздравляет Дмитрия Владимировича Скобельцына со славным юбилеем, желают ему доброго здоровья и многих лет успешной деятельности в физике.

Космические лучи были открыты В. Гессом перед первой мировой войной при проведении высотных полетов воздушных шаров с приборами, измеряющими ионизацию воздуха. Оказалось, что при подъеме шаров ионизация воздуха сначала уменьшается (за счет поглощения радиоактивных излучений, идущих от земной коры), а затем начинает возрастать. Стало ясно, что такое возрастание вызывается излучением, идущим, во всяком случае, сверху, из стратосферы или из космоса. Его назвали «высотным излучением».

Учитывая характер этих экспериментов, наиболее известный тогда реферативный журнал «Physikalische Berichte» помещал информацию о «высотном излучении» в разделе метеорологии. Ситуация изменилась лишь в середине 20-х годов.

Это был период становления и бурного развития квантовой механики. Одним из очень важных этапов этого становления было изучение рассеяния  $\gamma$ -лучей от радиоактивных веществ на электронах — комптон-эффекта. Комптон-эффект есть не что иное, как упругое столкновение отдельного

$\gamma$ -кванта с электроном из атома вещества. При этом электрон получает отдачу, а энергия  $\gamma$ -кванта изменяется. В таком процессе особенно ярко проявляется корпускулярная природа  $\gamma$ -лучей, и поэтому изучение комптон-эффекта имело особое значение для создания корпускулярно-волновых представлений о природе материи. Недаром обнаружение комптон-эффекта иногда называли ключевым пунктом в развитии новой физики. Выдающийся ученый того времени А. Зоммерфельд отмечал, что «борьба за реальность комптон-эффекта идет с переменным успехом».

Неудивительно, что молодой ленинградский физик Дмитрий Владимирович Скобельцын занялся в конце 1923 г. экспериментальным изучением электронов отдачи, выбиваемых при комптон-эффекте  $\gamma$ -лучами радия. Он избрал для этой цели камеру Вильсона, дающую возможность делать видимыми траектории отдельных электронов. Чуть позже он поместил камеру Вильсона в магнитное поле. Это позволило ему не только получить наглядную картину индивидуального акта взаимодей-

ствия  $\gamma$ -кванта с электроном, но и открыло возможность изучать количественные характеристики комптон-эффекта и параллельно получать данные о спектрах  $\gamma$ -квантов радиоактивных веществ. Ему пришлось немало потрудиться при разработке метода исследования, зато результаты вполне оправдали затраченные усилия. Оказалось, что дифференциальное сечение комптон-эффекта хорошо согласуется с квантово-механической формулой Клейна — Нишины — Тамма. Тем самым было установлено, что  $\gamma$ -кванты при взаимодействии с электронами ведут себя как корпускулы с определенным импульсом и энергией и само взаимодействие может быть описано квантовой электродинамикой.

Вместе с тем в ходе этих исследований Д. В. Скобельцын сделал еще два фундаментальных открытия, в корне изменивших всю ситуацию с изучением космических лучей. Он обнаружил, что иногда в камере Вильсона появляются частицы, траектории которых не изгибаются использованным им магнитным полем. Это означало, что их импульс по крайней мере в десятки раз превышает импульс частиц, испускаемых радиоактивными веществами. Д. В. Скобельцын справедливо приписал эти частицы «высотному излучению» — космическим лучам — и оценил, что создаваемая ими ионизация соответствует ионизации атмосферы от «высотного излучения». Тем самым он открыл заряженные частицы высоких энергий космических лучей.

Нельзя не отметить, что открытие молодого ленинградского физика многими специалистами было встречено с большим скепсисом и недоверием. Утверждалось, что «странные» прямые следы в камере Вильсона обусловлены не частицами высоких энергий, а дефектами в работе аппаратуры.

Но Д. В. Скобельцын не только открыл частицы высоких энергий. Он обратил внимание на то, что сравнительно часто такие частицы появляются при одном расширении камеры Вильсона не в одиночку, а группами по 2 или даже по 3 частицы. Проведенный им статистический анализ сразу же показал, что появление подобных групп никак не может быть объяснено статистическими флуктуациями, а отражает характерное свойство частиц космических лучей высоких энергий.

Тем самым были открыты ливни частиц космических лучей — первый из зарегистрированных эффектов физики высоких энергий. Именно это дает полное осно-

вание рассматривать указанные работы Д. В. Скобельцына как основополагающие не только для физики космических лучей, но и для физики частиц высоких энергий в целом.

Описанные исследования вызвали очень широкий резонанс во всем мире. Появились работы с камерами Вильсона больших размеров и с более сильным магнитным полем, полностью подтвердившие и дополнившие результаты, полученные Д. В. Скобельцыным. А в 1933 г. была опубликована работа П. Блэккета и Дж. Оккиалини, усовершенствовавших камеру Вильсона так, что она срабатывала от сигналов, вызываемых самими проходящими через нее частицами. С помощью такой камеры они получили замечательные фотографии картин ливней космических лучей, состоящих не только из обычных электронов, но и из только что открытых тогда положительно заряженных электронов — позитронов.

Таким образом, классические опыты

Д. В. Скобельцына открыли физике космических лучей и физике высоких энергий в целом магистральный путь, приведший к целому ряду фундаментальных открытий, многие из которых были сделаны с помощью камеры Вильсона в магнитном поле.

В начале 30-х годов появились впервые предложенные В. Боте и В. Кольхерстером и получившие широкое применение радиоэлектронные схемы, регистрировавшие одновременное появление разрядов в нескольких счетчиках частиц, «схемы совпадений», позволившие изучать проникающую способность частиц космических лучей, выделять их различные компоненты, определять вероятность образования ливней в зависимости от природы и толщины вещества, в котором они генерируются и т. п.

Используя подобные схемы совпадений, в 1937 г. французский физик П. Оже обнаружил, что даже далеко разнесенные друг от друга счетчики (на расстоянии нескольких метров и более) регистрируют одновременное прохождение через них большого числа заряженных частиц. Оказалось, что время от времени в земной атмосфере образуются огромные потоки (ливни) заряженных частиц космических лучей. В литературе они стали называться ливнями Оже. По существу это те же самые ливни, которые в меньшем масштабе были открыты Д. В. Скобельцыным.

На базе начавшей развиваться тогда каскадной теории естественно было рассматривать эти ливни как огромные элект-



Д. В. Скобельцын.

ронно-фотонные лавины, возникающие при попадании из космоса в земную атмосферу электронов или  $\gamma$ -квантов сверхвысокой энергии<sup>1</sup>. Д. В. Скобельцын провел большую серию расчетов по образованию таких мощных электронно-фотонных лавин. При этом оказалось, что экспериментальные данные по ливням плохо согласуются с предсказаниями теории о развитии лавин от электронов. Это побудило Д. В. Скобельцына вместе со своими учениками начать в 1944 г. на высотах гор (в памирских экспедициях) обширные исследования характеристик атмосферных ливней.

Вместе с тем расчеты, проведенные Д. В. Скобельцыным, и соответствующие опыты его учеников показали, что наблюдавшиеся многими физиками существенные расхождения между выводами каскадной теории и экспериментальными данными для локальных ливней умеренной энергии являются кажущимися и обусловлены не-

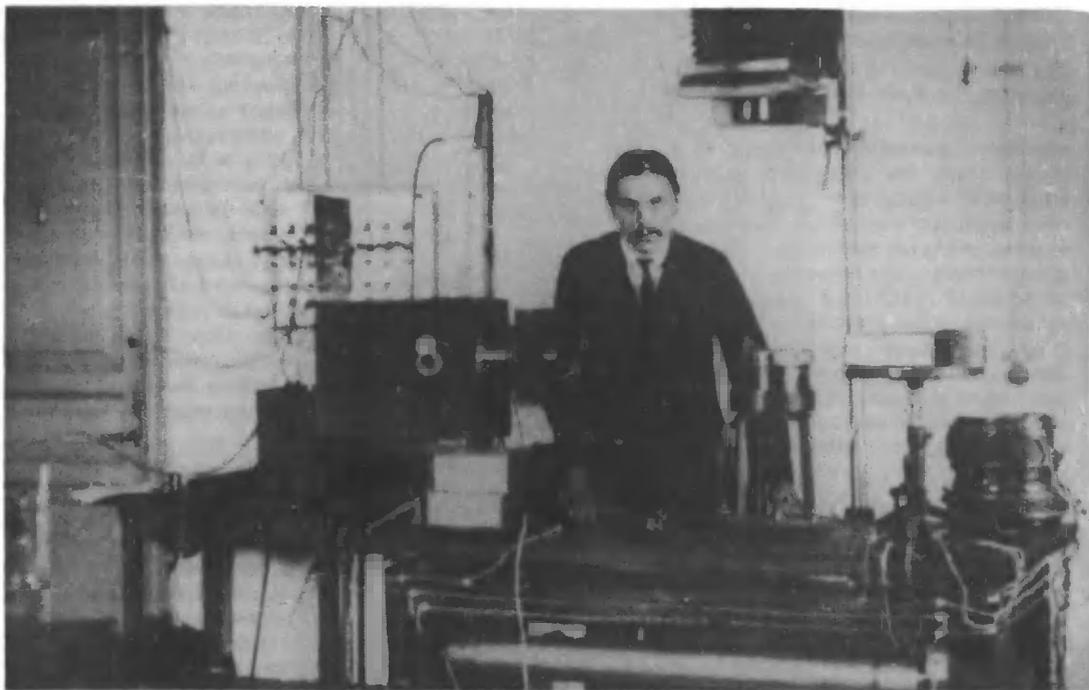
правильной постановкой экспериментов, не учитывавших рассеяние электронов малых энергий.

Под руководством Д. В. Скобельцына были разработаны специальные методы работы со счетчиками, позволившие уже на первых порах изучить «кривую раздвижения» — зависимость числа совпадений от расстояния между счетчиками — вплоть до расстояний в 1 км.

Удалось провести измерения числа ливней на разных высотах с поглотителями между счетчиками и установить, что среди ливневых частиц заметную долю составляют отнюдь не электроны или фотоны, а частицы с совсем другими свойствами. Наконец, был начат очень большой цикл исследований по определению пространственного распределения частиц в ливнях, особенно в центральных их областях. Здесь важную роль сыграли счетчики, соединенные со специальными устройствами, сигнализирующими, попала в данный счетчик частица или нет (так называемые годоскопы). В некоторых опытах на Памире использовались годоскопы с тысячами счетчиков.

Уже первые эксперименты, проведенные с такими установками, показали, что

<sup>1</sup> Каскадная теория исследует закономерности роста числа электронов и фотонов в веществе за счет чередования (каскада) процессов тормозного излучения фотонов электронами и образования фотонами электрон-позитронных пар.



Д. В. Скобельцын в лаборатории. 1924 г.

характеристики ливней из атмосферы никак не согласуются с представлением о том, что они образованы электроном или фотоном сверхвысокой энергии при их вхождении в атмосферу Земли.

К этому моменту стали известными результаты исследований взаимодействий частиц космических лучей меньших энергий с ядрами атомов различных веществ, выполненные под руководством Д. В. Скобельцына его учениками и на Памире, и в верхних слоях атмосферы с помощью аппаратуры, поднимаемой на воздушных шарах. Оказалось, что когда протон, скажем, с энергией  $10^{10}$ — $10^{12}$  эВ сталкивается с другим протоном, то за счет своей энергии он рождает вторичные частицы (в основном так называемые  $\pi$ -мезоны), но передает им не всю свою энергию, а лишь, примерно, половину. Как говорят физики, коэффициент неупругости подобного соударения в среднем равняется 0,5. Среди вторичных  $\pi$ -мезонов, как выяснилось позднее,  $1/3$  составляют нейтральные частицы ( $\pi^0$ -мезоны), которые быстро распадаются, образуя  $\gamma$ -кванты. Последние рождают электронно-фотонную лавину. Таким образом, в результате взаимодействия первого

протона с другим протоном или с ядром атома возникает ливень частиц из электронов, фотонов и  $\pi$ -мезонов (электронно-ядерный ливень). Остается и сам протон с половинной энергией. Он может снова вступить во взаимодействие и образовать второй электронно-ядерный ливень; да и некоторые вторичные частицы, при достаточно высокой энергии, могут, в свою очередь, образовать новые электронно-ядерные ливни. Происходит своеобразный многоступенчатый ядерно-каскадный процесс. Он продолжается до тех пор, пока энергия участвующих в нем частиц не деградирует настолько, что поглощение частиц начнет превалировать над образованием новых. При очень высокой энергии первичного протона в атмосфере развивается огромный ливень частиц (в основном это электроны и фотоны с некоторой добавкой мезонов, протонов и нейтронов), достигающий поверхности Земли. При особенно высокой энергии первичной частицы число вторичных частиц на уровне моря может достигать миллиардов.

Таким образом, Д. В. Скобельцыну и его ученикам удалось развить новое представление о процессах, происходящих при прохождении частиц высоких энергий через вещество, и, в частности, о механизме образования ливней Оже. (Кстати, следует отметить, что на этом основании в ми-

ровой литературе такие ливни стали называться широкими атмосферными ливнями — сокращенно ШАЛ, — а не ливнями Оже.)

Детальное изучение ШАЛ дает возможность многое узнать о тех частицах сверхвысоких энергий (вплоть до энергий  $10^{18}$  эВ и даже еще выше)<sup>2</sup>, которые образуют наиболее мощные ливни.

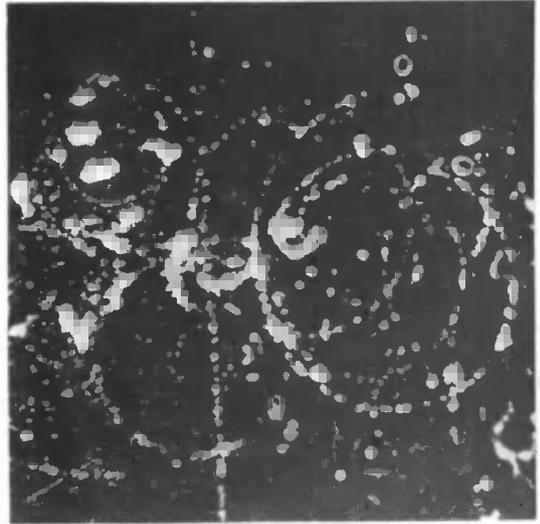
Исследования, проведенные учениками Д. В. Скобельцына, дали возможность определить энергетический спектр первичных частиц сверхвысоких энергий. Естественно, что число их быстро падает с увеличением энергии (для физиков укажем, что число частиц с энергией выше данной  $E_0$  падает, как  $E_0^{-1,6}$ ). Но при энергии в  $10^{15}$  эВ это падение становится еще более быстрым.

Состав первичных частиц, по-видимому, слабо не зависит от их энергии и остается смешанным: основную часть их составляют протоны, затем идут ядра атомов гелия, значительно меньше ядер атомов легких элементов (углерода, азота, кислорода) и немного ядер более тяжелых элементов (железа). Электронов и  $\gamma$ -квантов таких энергий в первичном излучении практически нет.

С помощью установки по изучению широких атмосферных ливней, созданной около Якутска (стоит отметить, что регистрация частиц ливня осуществляется в ней на площади  $20 \text{ км}^2$ ), удалось обнаружить, что частицы сверхвысоких энергий (с  $E_0 \geq 10^{19}$  эВ) приходят преимущественно со стороны, противоположной центру нашей Галактики. Это обстоятельство является весьма существенным с точки зрения современной астрофизики, так как указывает на возможные источники частиц и, следовательно, открывает пути к решению проблемы о механизмах ускорения их до таких гигантских энергий.

Другой аспект физики частиц космических лучей сверхвысоких энергий, над которой также работают ученики Д. В. Скобельцына, состоит в изучении взаимодействий подобных частиц с нуклонами и атомными ядрами.

Современная физика перешла к изучению свойств структурных составляющих нуклонов и мезонов, к выяснению вопроса



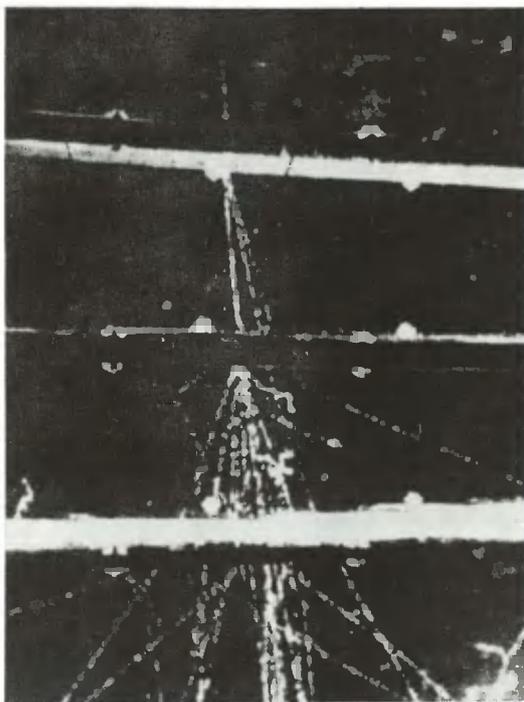
Одна из первых фотографий следа космической частицы, полученная Д. В. Скобельцыным.



Фотография ливня космических частиц, пронизывающего камеру Вильсона.

<sup>2</sup> Для наглядного представления о том, что это за энергия, можно сказать, что если бы все протоны и нейтроны, из которых состоят ядра атомов одной винтовочной пули, обладали бы такой энергией, то ее хватило бы, чтобы вскипятить количество воды объемом  $500 \times 500 \times 1 \text{ км}$ , т. е. буквально целое море воды.

о силах, действующих между этими «суб-частицами». Экспериментальной основой для рассмотрения всех этих проблем является изучение взаимодействий частиц при все более высоких энергиях. Именно этим и объясняется стремление ученых всех ведущих стран мира создавать ускоритель-



Электронно-фотонный ливень, развивающийся в камере Вильсона.

ные установки, дающие пучки частиц очень высоких энергий. Вместе с тем в космических лучах имеются, хотя и в ничтожной доле, частицы таких энергий, которые невозможно получить в лабораторных условиях ни сейчас, ни в обозримом будущем.

Вести исследования по физике элементарных частиц, особенно сверхвысоких энергий, в космических лучах несравненно труднее, и результаты их менее надежны и более неопределенны, чем результаты, получаемые на ускорительных установках. Но все же в космических лучах на каждом этапе можно было получать данные о процессах, происходящих при более высоких энергиях, чем те, которые были достигнуты на ускорителях. Нередко они приводили к важным заключениям. Примеров тому из прошлого можно привести очень много: это и выяснение факта образования большого числа вторичных частиц в элементарном акте взаимодействия двух исходных частиц, открытие многих типов элементарных частиц (позитрона,  $\mu$ -мезона,  $\pi$ -мезона,  $K$ -мезона, гиперонов) и изучение их

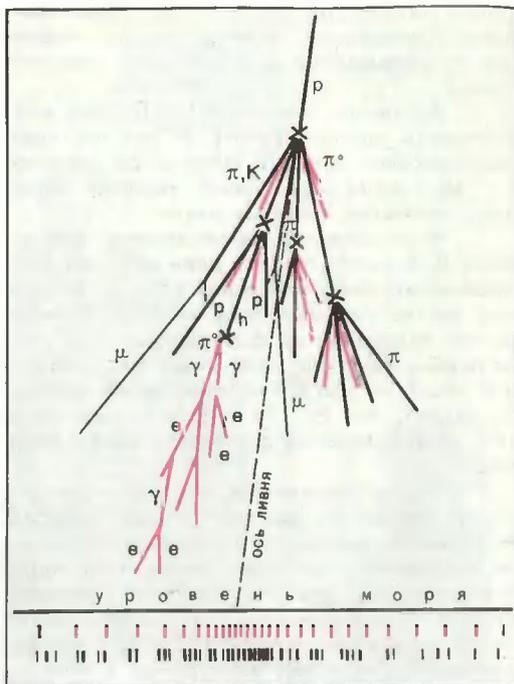


Схема образования электронно-ядерного ливня при взаимодействии первичного протона космических лучей с ядром одного из атомов воздуха. В  $n$  и  $\gamma$  — распределение плотностей различных частиц относительно оси ливня на уровне моря.

свойств, установление основных характеристик взаимодействия частиц высоких энергий, подобия энергетических спектров первичных и вторичных частиц, открытие электронно-ядерных ливней и ядерно-каскадного процесса и многое другое. Уже на протяжении 50 лет исследования в космических лучах выполняют функции как бы разведки, действующей в неизученных областях, подсказывающей пути, по которым должна двигаться «тяжелая артиллерия» — ускорители. Несмотря на все трудности, результаты исследований в космических лучах, если они были признаны международным сообществом «космиков», неизменно оказывались правильными.

Экспериментальные данные по частицам сверхвысоких энергий в космических лучах в настоящее время получаются с помощью двух разных методов: на основе уже упоминавшихся исследований широких атмосферных ливней и путем использования так называемых рентген-эмульсионных камер. Если электрон или  $\gamma$ -квант попадает на слой тяжелого вещества (обычно это

свинец), то он образует в нем электронно-фотонный каскад. Подложив под слой свинца рентгеновскую пленку, можно зафиксировать такой каскад в виде небольшого пятна почернения. При энергии  $\gamma$ -кванта в несколько триллионов электронвольт ( $>10^{12}$  эВ) пятно почернения становится видимым даже невооруженным глазом. Измерив почернение пятна с помощью микрофотометра, можно определить энергию  $\gamma$ -кванта. Если поставить не один слой свинца и рентгеновской пленки, а сделать многорядный «слоеный пирог», то точность

эмульсионными камерами работают, помимо советских и польских физиков на Памире, японские физики на горе Фудзи и группа японских и бразильских специалистов в Боливии, на горе Чакалтайя.

Основной вопрос, который физики пытаются решить в этих исследованиях, состоит в следующем: при каких энергиях изменяются известные нам закономерности, определяющие процессы в микромире, которые были вскрыты сначала в космических лучах, а затем весьма детально и надежно изучены с помощью уско-

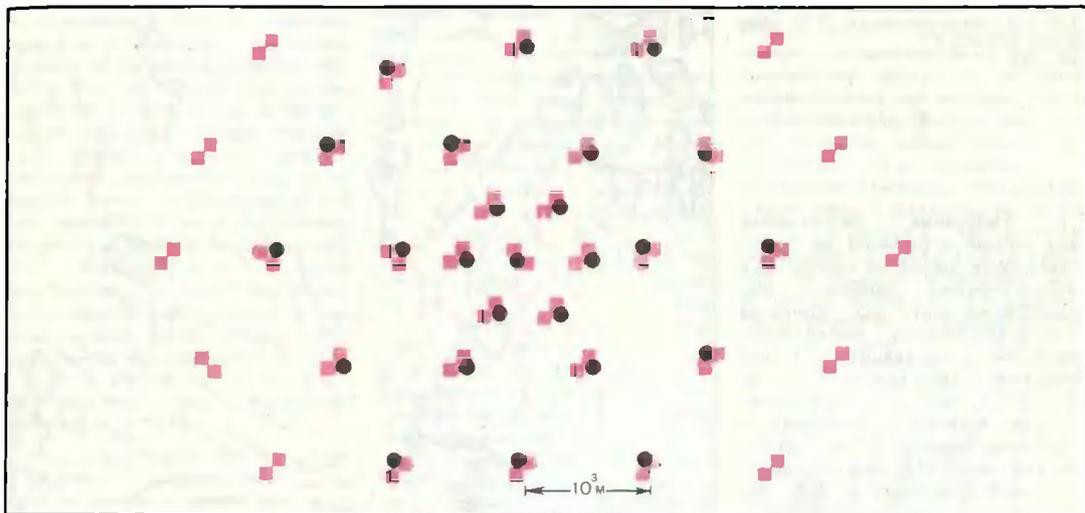


Схема расположения счетчиков Якутской установки для регистрации ШАЛ (кружками обозначены детекторы излучения Вавилова — Черенкова, квадратами — сцинтилляционные детекторы частиц, их площадь  $2 \text{ м}^2$ ).

определения энергии  $\gamma$ -квантов и направления их движения существенно возрастает. С помощью такого устройства можно изучать не только  $\gamma$ -кванты, но и нуклоны и мезоны, так как они в свинце образуют электронно-ядерные ливни, электронно-фотонная компонента которых дает на пленках регистрируемые пятна почернения.

Площадь подобных рентген-эмульсионных камер может быть сделана очень большой — до  $1000 \text{ м}^2$  и более. На высотах гор при годичной экспозиции такая камера может зарегистрировать несколько событий, вызванных частицами с энергией в десятки и сотни тысяч триллионов электронвольт ( $\geq 10^{17}$  эВ). В мире с такими рентген-

рителей при меньших энергиях. А затем попытаться найти хотя бы в самых общих чертах характер новых закономерностей, вступающих в силу в микромире при сверхвысоких энергиях.

Работа эта, конечно, еще очень далека от своего завершения, но кое-что уже достигнуто, и все большее число физиков приходит к выводу, что простая экстраполяция закономерностей, действующих в области энергий в триллионы электронвольт ( $>10^{12}$  эВ) на область тысяч или десятков тысяч триллионов электронвольт ( $\geq 10^{15}$ — $10^{16}$  эВ) невозможна.

Исследования, идущие по путям, намеченным Д. В. Скобельцыным еще 55 лет тому назад, продолжают и развиваются и шире и вглубь.

## Смоляные комки в море и на шельфе

**И. А. Немировская,**  
кандидат химических наук  
Институт океанологии им. П. П. Шир-  
шова АН СССР  
Москва

Нефтяное загрязнение вод морей и океанов не перестает быть одной из важнейших экологических проблем. Несмотря на ряд мер, принятых международными океанологическими организациями в последние десятилетия, около 6 млн т нефти и нефтепродуктов ежегодно попадает в Мировой океан. Из этого количества около 34% нефти сливает морской транспорт и 38% поступает с хозяйственно-бытовыми стоками, 10% приходится на естественные выбросы и просачивания нефти через дно, 6% на нефтяные разливы при катастрофах танкеров и буровых установок.

Постоянное слежение за уровнем нефтяного загрязнения, районами его распространения, формами существования нефти в водах осуществляется по специальному проекту Межправительственной океанографической комиссии и Всемирной метеорологической организации. Начиная с 1976 г. наш институт принимает участие в мониторинге нефтяного загрязнения по этой программе.

На поверхности морских вод нефть встречается в виде пленок и смоляных комков, а в самой воде углеводородные компоненты нефти присутствуют в растворенном и эмульгированном состоянии. Под действием ветра и волнений нефтяные поля обычно сначала вы-



Основные течения Северной Атлантики.

тягиваются в полосы и дробятся, при этом частично растворяясь и разлагаясь и в большей степени эмульгируя. Нефтяные эмульсии с содержанием воды до 50—80% получили название «шоколадного мусса».

Они весьма устойчивы и обладают высокой вязкостью. После всех потерь, которые претерпевает нефтяная пленка, образуются смоляные комки. Сходный процесс трансформации нефти идет и при перевозке ее в танкерах, в этом случае комки попадают в море при очистке танков. Из-за меньшего удельного веса по сравнению с морской водой комки концентри-

ругуются в поверхностном слое, загрязняя наиболее продуктивную толщу морских вод.

По последним данным, наиболее загрязнена смоляными комками Северная Атлантика между Гибралтаром и Азорскими о-вами, в районе Бермудских о-вов, в Саргассовом, Карибском, Средиземном морях. Индийский и Тихий океаны загрязнены в меньшей степени. Меньше всего комков в водах, омывающих Антарктиду. Смоляные комки распространяются и переносятся главным образом ветрами и течениями, проникая далеко за пределы морских путей. Они выносятся из динамически активных зон и накапливаются в относительно спокойных, причем в центрах циклонической циркуляции вод смоляные комки скапливаются на его периферии, а в антициклонических — во внутренней зоне.

В одном из таких центров замкнутых антициклонических циркуляций, Саргассовом море, нам удалось провести довольно детальные исследования во время 26-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» в 1978 г.

Знаменитые скоплениями плавающих водорослей Саргассово море в наши дни становится местом сосредоточения смоляных комков. Как известно, у Саргассова моря нет берегов, но со всех сторон оно ограничено течениями: на западе мощным Гольфстримом, на востоке — широким Канарским течением, на севере — дрейфовым Северо-Атлантическим, а на юге — пассатным течением. Таким образом, Саргассово море — это в некотором роде динамически и биологически автономная океанографическая провинция. Похожие условия встречаются и в других океанах, но там они не так хорошо выражены.

При первой остановке нашего судна нас поразили не известные во всем мире водоросли Саргассова моря, увиденные нами впервые, а то, что они сплошь покрыты смоляными комками. Спущенный в море трал поднял с поверхности 130 г нефтяных комков. Всего трал во время экспедиции опускали в воду 75 раз, и лишь в 6 слу-

чаях остатков нефти не было обнаружено.

Комки различались по внешнему виду. Иногда это были липкие, легко деформируемые, видимо, недавно образовавшиеся остатки с глянцевой поверхностью. Наряду с ними встречались плотные густки, покрытые бурой бактериальной пленкой. Диаметр комков изменялся от 2 мм до 4 см, вес самых крупных образцов достигал 14—15 г. На комках встречались моллюски (в основном, молодь морских уток), рачки, в углублениях — икра морских животных.

Нам удалось с февраля по май четыре раза полностью обследовать площадь полигона. В течение этого периода наблюдений среднее содержание комков в морской воде менялось от 6,9 мг/м<sup>2</sup> в феврале до 28,5 мг/м<sup>2</sup> в мае.

В отличие от комков, средние концентрации другой формы нефтяного загрязнения — растворенных и эмульгированных углеводородов — изменялись со временем несущественно. Относительно высокие их содержания также были зафиксированы в мае.

Наблюдалась значительная пространственная изменчивость величин концентраций смоляных комков и углеводородов.

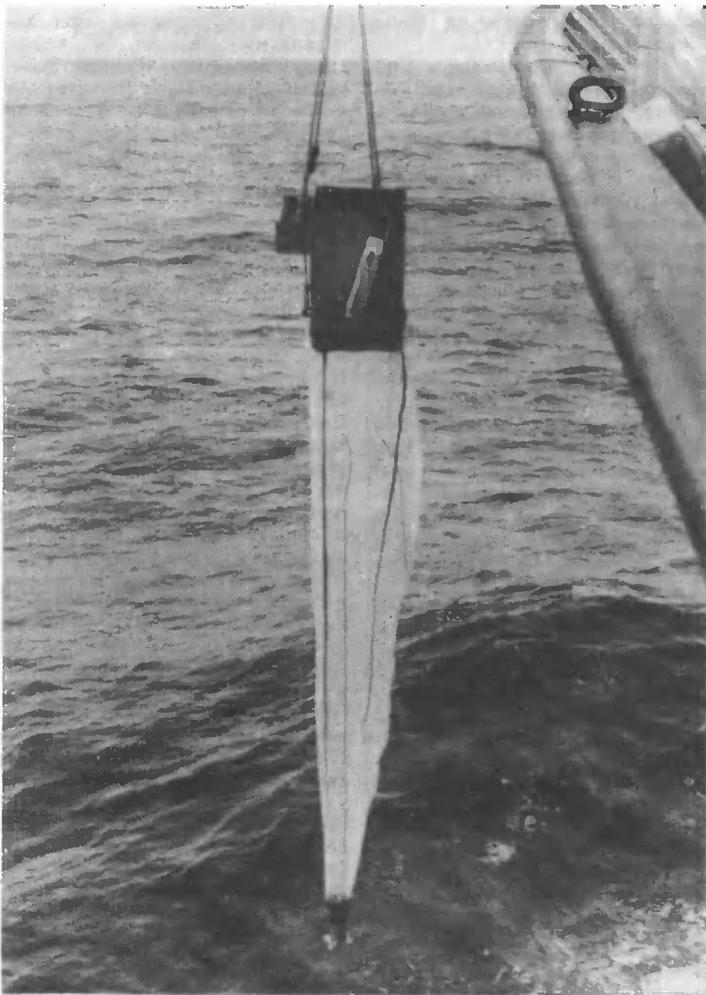
Максимальное количество смоляных комков встречается в западной части Саргассова моря, где локализуется центр субтропического антициклонического круговорота. Севернее Саргассова моря в районе Гольфстрима содержание комков, так и углеводородов уменьшалось, причем загрязнение отмечалось лишь в южной части течения. Видимо, повышению концентраций справа от Гольфстрима способствует геострофический перенос, создающий потоки опускающихся вод — конвергенцию. Полученные нами данные по содержанию комков оказались несколько выше имеющихся в литературе.

Несмотря на большой разброс зарегистрированных концентраций, их средние значения в Саргассовом море составляют на протяжении последнего десятилетия 1—10 мг/м<sup>2</sup>.

За пределами моря загрязнение убывает, в водах северо-западной Гольфстрима содержание комков значительно ниже (0,12 мг/м<sup>2</sup>), а между Гренландией и Лабрадором комки практически не встречаются.

Мы сопоставили данные по распределению концентраций комков и углеводородов. Оказалось, что корреляция между этими формами загрязнения существует лишь для крупномасштабных систем: району Гольфстрима в целом присущи низкие концентрации, а району Саргассова моря — высокие концентрации как комков, так и углеводородов. Внутри же полигона связь между этими параметрами не наблюдалась. Необходимо отметить, что корреляция между различными формами нефтяного загрязнения наблюдается довольно редко, так как их существование определяется разными факторами. Растворимость углеводородов в воде мала, а содержание грубодиспергированных форм связано с наличием веществ, стабилизирующих эмульсию. Эти вещества будут существенно влиять на концентрации эмульгированных углеводородов. Распределение смоляных комков зависит от условий их образования и гидродинамических факторов. Так, например, в феврале в районе полигона границы субтропической конвергенции проходила в юго-западной части, где наблюдалось повышенное содержание комков. В марте конвергенция передвинулась к северу, и максимальная конвергенция наблюдалась в северо-западной части во фронтальной зоне между теплой (20,5°) и холодной (19,5°) водой. В апреле и мае скопление комков отмечалось в юго-западной части полигона в зоне антициклонического вихря.

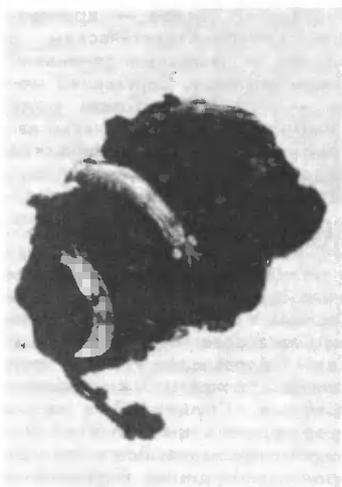
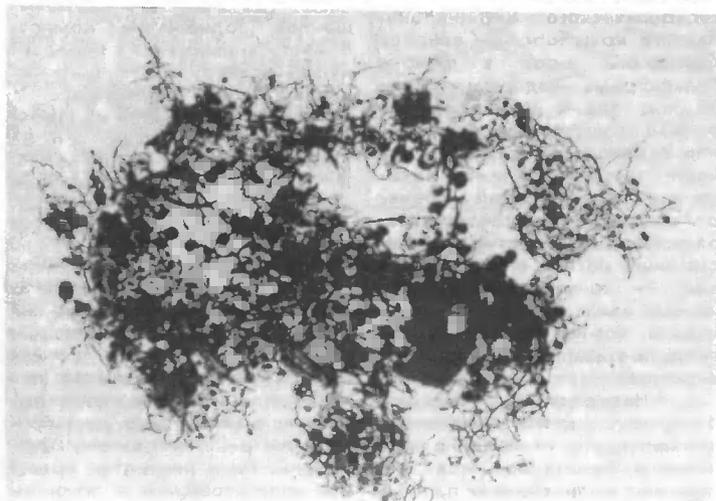
Раньше предполагали, что влияние смоляных комков на функционирование экосистем океана незначительно, так как столь крупные агрегаты не заглатываются морскими животными и, кроме того, они достаточно выветрены и поэтому безвредны. Но в последнее время все чаще сообщают о находке в желуд-



**Лов смоляных комков тралом.**

**Смоляные комки на саргассовых водорослях.**

**Креветки на смоляном комке.**



ках рыб. Крупные комки мазута облеплены ракушками, рачками и мелкими крабами, а это желемая добыча для рыб. Глотая их, рыба одновременно заглатывает комок. Те рыбы и киты, которые отцеживают планктон, пропуская воду через усы и жабры, поневоле заглатывают мазут. Необходимо отметить, что пятна нефти и комки могут сорбировать хлорорганические пестициды и этим увеличивать свою токсичность. Мы провели структурно-групповой анализ комков, и оказалось, что доля безвредных тяжелых фракций (асфальтенов, карбенов-карбонидов) невелика и в большинстве случаев не превышает 10%. Как и сырые нефти, комки в основном состоят из фракции масел и смол, а в составе последних преобладают парафино-нафтеновые и ароматические углеводороды. Поэтому такие смоляные комки еще в достаточной степени потенциально опасны для морской среды, и экологический ущерб от них, по-видимому, гораздо больший, чем можно было бы ожидать.

При сносе комков к берегу создается серьезная проблема очистки шельфовой зоны и пляжей. Мы провели изучение нефтяного загрязнения на североафриканском шельфе Средиземного моря, где на одном из участков берега и подводном склоне до глубины 20 м были организованы стационарные наблюдения продолжительностью около трех лет. Нефтяное загрязнение было представлено разнообразными формами: пленками, смоляными комками, в эмульгированном и растворенном состоянии. Нефтяные пленки толщиной в несколько миллиметров широко распространены на коренных породах в прибрежной полосе. Покрывая поверхности полого падающих пластов, пленка предохраняет породы от интенсивного выщелачивания, столь характерного для данного района, и пагубно отражается на биоценозе прибрежной зоны.

Пляж и шельф залива до глубины 6—7 м были покрыты

комками. Причем на шельфе мы встретили образования, которые уже не назовешь комками — плотные шары диаметром от 5 до 30 см. Сердцевина у них мягкая, внутри некоторых образцов — капли воды, а поверхность — твердая, покрытая песком. Распределение их по профилю шельфа неравномерно и зависит от неровностей дна. Шары скапливаются в трещинах песчаника, образуя вытянутые полосы. Вес шаров в таких полосах достигает несколько десятков килограммов на  $1 \text{ м}^2$ . В пересчете на 1 км берега и дна до глубины 6—7 м общая масса смоляных шаров, за вычетом содержавшегося в нем песка, колебалась от 3600 до 13 260 кг.

Другой формой загрязнения пляжа и шельфа являются смоляные комочки размером от нескольких миллиметров до 5 см. Волнением они выбрасываются на берег и скапливаются в виде черных полос на некотором расстоянии от уреза. Иногда такие комочки образуют валы высотой до нескольких десятков сантиметров, шириной 3—7 м. Наблюдения показали, что подобные валы могут возникать на берегу после одного умеренного волнения. Так, на песчаном пляже длиной 235 м комки сосредоточились после шторма в двухметровой полосе в 3—4 м от уреза, и загрязнение пляжа достигло 12 300 кг на 1 км. При другом, более слабом волнении такого же направления на этом же пляже загрязнение составило 3700 кг на 1 км берега.

Приведенные данные касаются лишь поверхности пляжа и дна. На размываемых после шторма песчаных пляжах, где образуются небольшие обрывы высотой до 1 м, часто можно видеть наряду со слоями различного по крупности песка горизонты нефтяных образований толщиной 5—6 см, протягивающиеся по всему обрыву вдоль берега. Загрязнение в таком виде замедляет химический обмен между отдельными слоями осадков, способствует образованию своеобразных водоупорных горизонтов. Нефтяные агрегаты с определенным количеством песка становятся одной из форм осадочного материала.

Смоляные шары и комочки различаются по составу. Комочки похожи на плавающие нефтяные остатки Саргассова моря. А в шарах доля тяжелых фракций значительно выше — до 50—60%. Возможно, что комочки являются промежуточными образованиями между сырой нефтью и шарами. Вероятно, волнами и течениями комочки прибиваются к берегу, где они подвергаются дальнейшему выветриванию и, смешиваясь с песком, образуют смоляные шары, которые в силу увеличения веса опускаются на дно. В целом масштабы загрязнения шельфовой зоны столь велики, что приходится считать с этим фактором при исследовании процессов накопления осадков.

Исследования нашего института в 1980—1981 гг. показали, что в менее загрязненных районах Атлантического и Индийского океанов смоляные комки присутствуют в отдельных пробах, взятых в наиболее судорожных районах: в Северо-Восточной Атлантике ( $0,67—6,75 \text{ мг/м}^2$ ), в Средиземном море ( $1,35 \text{ мг/м}^2$ ), в центральной части Индийского океана ( $0,07—1,58 \text{ мг/м}^2$ ), в Малаккском проливе на пути к порту Сингапур ( $0,57 \text{ мг/м}^2$ ). В предыдущие годы смоляные комки в исследуемых акваториях отмечались значительно чаще. По сравнению с 1976—1977 гг. нефтяное загрязнение несколько снизилось, что согласуется с отчетом Международной морской консультативной комиссии: объясняется это, по-видимому, некоторым уменьшением сброса нефти в океан танкерным флотом с 2,1 млн т в 1971 г до 1,5 млн т в 1980 г., несмотря на увеличение количества перевозимой морем нефти и общего тоннажа мирового флота. Однако загрязнение от аварий танкеров увеличилось с 200 тыс. т в 1973 г. до 390 тыс. т в 1980 г. и общий сброс остается еще достаточно высоким. Для уменьшения загрязнения океана необходимо усилить контроль за выполнением принятых международных соглашений и интенсифицировать работы по созданию средств и методов, предотвращающих попадание нефтяных загрязнений в морскую среду.

## И. В. Гете — геолог и минералог

Т. Б. Здорик



Татьяна Борисовна Здорик, кандидат геолого-минералогических наук. Автор более 50 научных работ, автор-составитель «Атласа минералов и руд редких элементов». М., 1977. Ею написаны также научно-популярные книги: Здравствуй, камень! М., 1975; Приоткрой малахитовую шка-тулку. М., 1979 и др.

Стоит мне приблизиться к горам,  
и меня снова притягивают камни.  
И. В. Гете

В автобиографическом очерке Гете, написанном им незадолго до смерти, есть грустное признание: «Более полувека известен я на родине и за границей как поэт... Но что я с большим вниманием и усердием трудился над изучением общих физических и органических феноменов и втихомолку, с постоянством и страстью, развивал серьезно поставленные наблюдения — это не так общеизвестно, а еще меньше внимательно обдумывалось»<sup>1</sup>. Сегодня, больше чем через 150 лет после того, как были написаны эти слова, мы с полным основанием можем их опровергнуть.

Избранные труды Гете по естествознанию (главным образом по биологии) изданы на русском языке в серии «Классики науки». О Гете-ученом писали К. А. Тимирязев и В. И. Вернадский. Научное творчество Гете, особенно его работы по морфологии растений и животных, прокомментировано в специальной моно-

графии И. И. Канаева<sup>2</sup>. Однако широта интересов Гете — поэта и натуралиста всегда оставляет возможность взглянуть на его творчество под каким-то новым углом, попытаться высветить новую грань в его литературном и научном наследстве. В своем стремлении охватить мысленным взором природу во всех ее аспектах Гете необычайно многогранен, его интересует не только ботаника, морфология, сравнительная анатомия, физиология, оптика, но и геология, минералогия, метеорология.

«Уже 60 лет как преданный естествознанию, и особенно геологии и минералогии, я собираю все, что значительно...» — пишет он в 1830 г., за два года до смерти<sup>3</sup>. В чем же выразилось пристрастие Гете к геологии? Когда и под влиянием чего родилась эта страсть? Как проявилась уни-

<sup>1</sup> Гете И. В. Избр. соч. по естествознанию. М., 1975, с. 77.

<sup>2</sup> Канаев И. И. Гете как естествоиспытатель. Л., 1970.

<sup>3</sup> Дурыйлин С. Русские писатели у Гете в Веймаре. — В кн.: Литературное наследство, т. 4—6. М., 1932, с. 181.

кальная личность Гете в этой сфере? Что нового смог внести его гений в развитие наук о Земле? И что дали занятия геологией и минералогией его творчеству? Очертив серией вопросов какую-то малую зону в том, едва обозримом и невероятно изобильном, чему имя «творчество Гете», попытаемся совершить посильный экскурс в область на стыке естествознания и литературоведения.

По воспоминаниям его секретаря Ф. В. Римера, Гете называл личность «высшим счастьем смертных». Одни и те же личностные, индивидуальные черты привлекательны для нас в Гете-поэте и в Гете-ученом. Гете-поэт, стремясь охватить «бесконечное» (Unendliche), остается предельно правдивым и искренним в каждой частности «конечного»:

Willst du in Unendliches schreiten —  
Gehe in Endlichen nach allen Seiten<sup>4</sup>.

«Ты хочешь в бесконечное шагнуть — во все концы конечного твой путь». Одной из троп «конечного» была для Гете геология.

В занятиях Гете геологией парадоксально сочетается это же неуклонное стремление к созданию цельной, единой картины — «образа всей Земли» и вкус к непосредственному, чувственному восприятию факта, детали, к точной фиксации конкретных природных явлений, вкус к эксперименту. Свой подход к изучению природы Гете так излагает Шиллеру: «...не брать природу разрозненно и разъединенно, а изображать ее деятельной и живой, стремящейся из целого в части»<sup>5</sup>.

Говоря о масштабных идеях великого поэта и натуралиста, оставивших след в геологии, В. И. Вернадский подчеркивает, что Гете был одним из первых, кто ощутил и выразил громадность диапазона геологического времени. Достаточно вспомнить, что гениальный физик И. Ньютон, с которым Гете страстно полемизирует в своем «Учении о цвете», в вопросе о времени существования Вселенной довольствовался скромным библейским числом 5508 лет (до наступления н. э.). Крупнейший ученый-натуралист Европы, старший современник Гете Ж. Бюффон, создатель тридцатишеститомной «Естественной истории» и автор

труда «Эпохи природы», оказавшего огромное влияние на формирование геологического мышления Гете, увеличил это число до 75000 лет. По тем временам это было смело. Но при этом нельзя забывать, что Бюффон был катастрофистом: история нашей планеты представлялась ему цепью гигантских перманентных катаклизмов. Геолог-эволюционист Гете мыслит смелее: если предоставить природе миллионы лет для создания современного облика нашей планеты, катастрофы не понадобятся, все можно будет объяснить «малыми, но постоянными действиями». «Природа, действуя спокойно и медленно, способна на необыкновенное».<sup>6</sup> О «миллионах лет» земной истории Гете заговорил одним из первых в геологии!

Смелость воображения Гете отталкивалась от общеизвестных фактов, но эти факты он умел увидеть заново. Первым, или одним из первых, он объяснил происхождение так называемых «эрратических глыб» — гигантских гранитных валунов, нередко встречавшихся ему в его странствиях по Швейцарии — на склонах Ронской долины. Сегодня о периодах оледенения Земли слышаны уже школьники. Во времена Гете само понятие «оледенение» только-только появлялось в науке. К примеру, известный геолог-вулканист Зеопольд фон Бух убежденно доказывал, что механические («эластические») силы выталкивают из земных недр многотонные глыбы гранита и разбрасывают их на десятки и сотни миль. Гете, выражаясь языком современной науки, придерживался в геологии принципа актуализма. В Швейцарских и Итальянских Альпах он досконально изучал расположение трещин в леднике, рассматривая ледяной массив как модель застывшей породы. Именно эти наблюдения привели его к гениальной догадке: «эрратические глыбы» приносятся в долину ледниками. Свою гипотезу Гете излагает не только в коротких научных заметках («Эрратические глыбы», «Холод», «Рассеянные гранитные глыбы»), где он пишет об эпохе «великого холода» и заявляет, что лед играет большую роль, чем думают, но решительно вводит ее и в литературную ткань «романа воспитания» — «Годы странствий Вильгельма Мейстера»: «...с высочайших хребтов по спустившимся глубоко в долину ледникам, словно по готовым санным дорогам, тяжелые глыбы камня

<sup>4</sup> Goethes Werke. Berlin—Weimar, 1981, В. 1, S. 382.

<sup>5</sup> Лихтенштадт В. О. Гете. Борьба реалистического мировоззрения. Пб., 1920, с. 428.

<sup>6</sup> Chamberlain H. S. Goethe. München, 1921, S. 380.



И. В. Гете, 1791 г. (гравюра на меди Я. Н. Липса).

скользят все дальше и дальше. Когда же наступила пора оттаивания, они спустились на чуждую почву и навеки остались лежать в ней. А благодаря плавучим льдинам становилась возможной переправа гигантских валунов прямо с севера»<sup>7</sup>. Тем самым Гете, наряду с Л. Агассицем, выступает как пионер гляциологии. Сам Агассиц, выступивший со своей гипотезой о широком распространении оледенения лишь в 1837 г., т. е. через пять лет после смерти Гете, свидетельствует о том, что один только Гете развивал цельное представление о длительной эпохе «великого холода», эпохе, в которую ледники спускались до Женевского озера и ниже.

Гениальный поэт всегда словотворец. И не случайно именно поэт Гете ввел в науку весьма существенный и емкий термин «морфология», наполнив это, казалось бы, статичное понятие динамикой развития: «Учение о форме есть учение о превращении»<sup>8</sup>. И хотя сама эта идея родилась

у Гете на примере ботаники, она полностью приложима и к геологии и минералогии. Это ощущал и сам Гете. В плане его грандиозного по замыслу, но неосуществленного творения «Романа о Вселенной» есть пункты, касающиеся развития форм рельефа Земли, где он вплотную подходит к геоморфологии, и есть пункты об изменчивости форм кристаллов. Здесь Гете выступает как предтеча современной онтогенети минералов.

Представляя геологию и геогнозию<sup>9</sup> как науки исторические, Гете пишет: «Именно в геогнозии человеческому духу открывается прекрасная наставница в его представлениях о развитии, которые у многих наблюдателей, обладающих истинным призванием к этому, часто достигают удивительной высоты...»<sup>10</sup> Таким «наблюдате-

<sup>7</sup> Гете И. В. Собр. соч., т. 8. М., 1979, с. 229.

<sup>8</sup> Гете И. В. Избр. соч. по естествознанию, с. 389.

<sup>9</sup> Во времена Гете предмет геологии охватывал главным образом теоретические воззрения на историю Земли, а геогнозия была близка современной полевой геологии, т. е. занималась вещественным составом пород, изучала формы залегания геологических тел и т. д.

<sup>10</sup> Semper M. D. Die Geologischen Studien Goethes. Leipzig, 1914, S. 380.

лем, обладающим истинным призванием», безусловно, был и сам Гете. Об этом свидетельствует, например, еще один термин, связанный с его именем, ставший ныне классическим — **карлсбадский двойник**. Гете многократно упоминает под этим названием сростания полевого шпата из окрестностей Карлсбада (ныне Карловы Вары). Среди его геологических зарисовок имеется точный и скрупулезный рисунок карлсбадского двойника. Рисунок, позволяющий считать Гете причастным не только к названию этого характернейшего ортоклазового двойника, но и к открытию самого карлсбадского закона двойникования. Здесь он прикасается к кристаллографии — области наук о Земле, наиболее близкой математике, которая в целом чужда ему. «Нет никого более меня боящегося цифр, и я с давних пор уклонялся и бежал от всякой числовой символики»<sup>11</sup>. В этой связи, однако, представляется интересным привести глубокою и весьма характерное высказывание Вернадского об отношении Гете к математике: «Гете — натуралист, точный наблюдатель и экспериментатор, не признававший числа и причинного объяснения природных явлений, в односторонности своей, и для нас донкихотстве, в борьбе с ньютоновским мировоззрением, в одной части безусловно прав: причинная — числовая — связь не захватывает всего наблюдаемого в точном естествознании, ибо человеческая мысль есть функция среды (биосферы), а не только организма. И аналитический прием разделения явлений всегда приводит к неполному и неверному представлению, так как в действительности «природа» есть организованное целое»<sup>12</sup>.

Как точный и пунктуальный экспериментатор Гете раскрылся главным образом в серии проведенных им опытов, касающихся его учения о цвете, разбор которого увел бы нас в физиологию цвета, а это выходит за рамки статьи.

Однако один из этих опытов вплотную соприкасается с минералогией. Речь идет о приоритете Гете в установлении им люминесценции болонского камня<sup>13</sup> лишь в фиолетовой и ультрафиолетовой части спектра. Сам Гете в письме Зёммерингу

от 2 июля 1799 г. описывает свой эксперимент так:

«Я отбросил обычным образом так называемый солнечный спектр на стену и поместил изготовленный в Болонье светящийся камень в желтую и желто-красную часть спектра и обнаружил, к моему удивлению, что он после этого в темноте вовсе не светится. Затем я перенес его в зеленую и голубую часть, и тогда он в темноте не излучал света. Наконец, когда я положил его в фиолетовую часть спектра, он мгновенно привлек к себе свет и очень ярко светился в темноте. Я уже много разнообразил этот опыт и собираюсь, как только будет возможность, его повторить и проработать. Я не решаюсь делать из него какие-либо выводы, кроме того, что он сам говорит: именно, что оба противоположные конца цветов (спектра.— Т. 3) могут оказывать на тело различное... и столь реальное и довольно длительное влияние»<sup>14</sup>.

Лишь спустя более чем 50 лет, в 1849 г., этот опыт был повторен французским физиком А. Беккерелем.

Любовь к эксперименту ни в коем случае нельзя рассматривать как случайный каприз гения, она органична для Гете. «Im Anfang war die Tat»<sup>15</sup> («В начале было дело») — так трактует Евангелие гетевский Фауст. «Tat» — дело, деяние, опыт, по Гете, непрерывное звено в цепи познания: «Думать и действовать, действовать и думать — вот итог всей мудрости... То и другое, как выдох и вдох, должно вечно чередоваться; как вопрос и ответ, одно не должно быть без другого»<sup>16</sup>. Собственно, с дела, с действия началось и продлившееся всю жизнь увлечение Гете геологией и минералогией<sup>17</sup>.

7 ноября 1775 г. Иоганн Вольфганг Гете, двадцатилетний автор нового горячо принятого читателями романа «Страдания юного Вертера», приезжает в Веймар. Приезжает, как ему думалось тогда, ненадолго. Однако именно здесь предстоит ему провести всю свою жизнь, оставляя Веймар лишь на время путешествий. Здесь предстоит ему создать свое бессмертие — «Фауста» и «Вельгельма Мейстера», баллады, столь похожие на народные предания, и удивительную, жизне-

<sup>11</sup> Людвиг Э. Гете. М., 1965, с. 185.

<sup>12</sup> Переписка В. И. Вернадского с Б. Л. Личковым (1918—1939). М., с. 272.

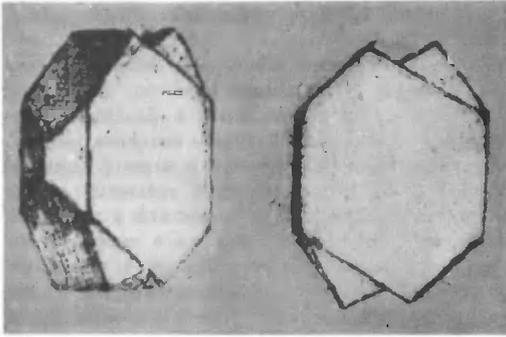
<sup>13</sup> Болонские камни, или болонские фосфоры, изготавливались в XVII в. в г. Болонье путем спекания «болонского шпата» (барита) с древесным углем.

<sup>14</sup> Канав в И. И. Назв. соч., с. 403.

<sup>15</sup> Goethes Werke. Op. cit., B. IV, S. 169

<sup>16</sup> Гете И. В. Избр. соч. по естествознанию, с. 393.

<sup>17</sup> В 1780 г. Гете написал первую работу, касающуюся геологии, а в 1832 — в год своей смерти — последнюю.



Карлсбадский двойник ортоклаза. Рисунок И. В. Гете.

утверждающую и мудрую лирику. Однако приглашен Гете в Веймар ко двору молодого герцога Карла Августа не столько как поэт, сколько как государственный муж. Герцог назначает его тайным советником, а впоследствии и полновластным первым министром маленького государства. Саксен-Веймар-Эйзенахское герцогство состояло в ту пору из двух княжеств; в его состав входила плодородная низменность вокруг Иены и кусочек гористой возвышенности со старинными рудниками вокруг Ильменау. Круг обязанностей энергичного молодого министра был необычайно широк: в его руках сосредоточены заботы о финансах страны, армии, дорогах. Предметом его особенной заботы становится горный надзор над рудниками Гарца и Ильменау. Неудивительно, что в этот период кипучей деятельности Гете шутивно писал о своих «фонтанирующих» литературных идеях, что от этих фонтанов и каскадов он отводил как можно больше воды на мельницы и в оросительные каналы.

Чтобы поправить финансы страны, Гете пытается вернуть к жизни заброшенные рудники Ильменау. Стоит вспомнить, что еще в XIV в. медистые сланцы Ильменау разрабатывались на цветные и благородные металлы, но во время тридцатилетней войны разработка их прекратилась и горные выработки были затоплены. С 1777 г. Гете руководит горной комиссией. Наконец в 1784 г., спустя тринадцать лет после начала работ по восстановлению Ильменау, первая шахта вступила в строй. И первый удар киркой делает министр Гете!

Именно здесь в Ильменау зарождается его увлечение минералогией. «С тех пор, как я занялся проблемами рудника, я всей душой погружаюсь в минералогию», — пишет он своему другу Мерку

в одном из писем, а в другом мы читаем: «Я подружился с геогнозией под впечатлением горных выработок, открывших слоистые толщи. Изучению последовательности залегания этих слоистых толщ я посвятил многие годы жизни. Ильменауские горные разработки побудили меня к более детальному изучению и других пород Тюрингии от красного лежа до самых верхних пластов известняка и на глубину до гранита»<sup>18</sup>. Гранитам, широко представленным в Тюрингии и Саксонии, Гете отдал также немало сил и труда, что нашло отражение в целом ряде его статей на эту тему. Гранит представлялся тогда наиболее древней породой земной коры, и тут Гете не был оригинален.

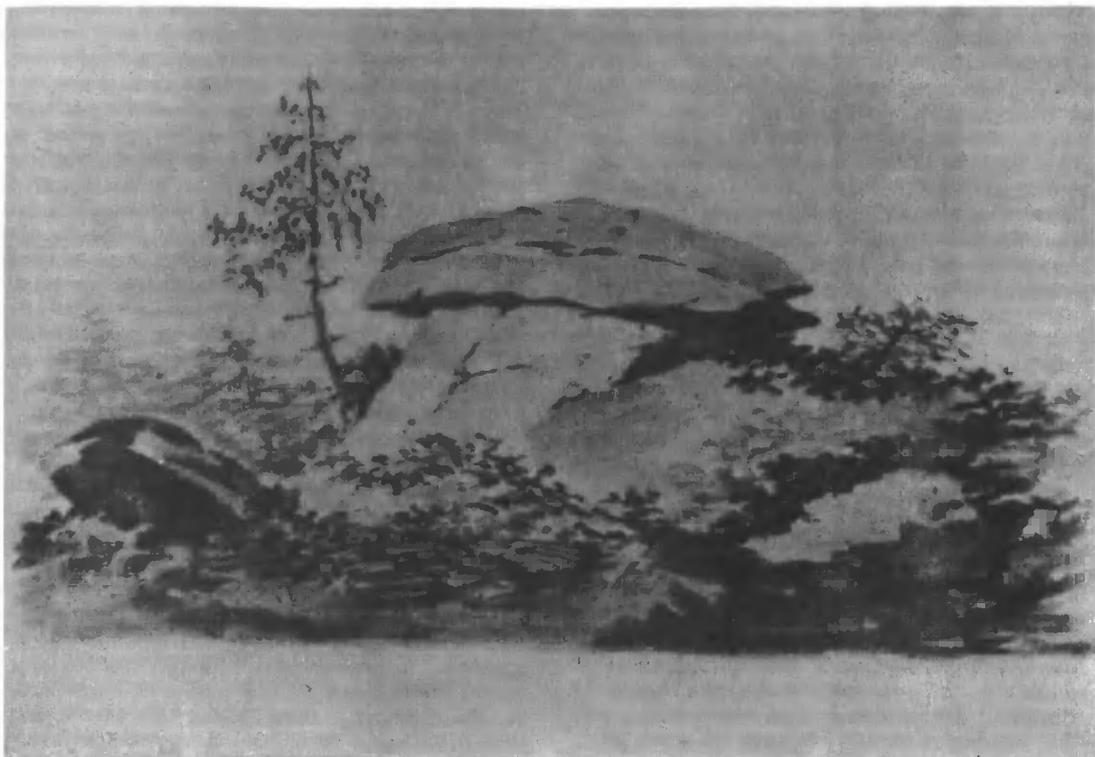
Не менее интересным и по-своему значительным делом, в котором принимал участие Гете, было создание первой геологической карты Средней Европы (1821 г.), послужившей началом периодического издания «Германия, геолого-геогностическое описание». Составлялась карта геологом-самоучкой К. Кеферштейном (1784—1866). В рецензии на эту работу Гете писал: «Когда я подумаю, сколько я за 50 лет потрудился в этой специальности (геологии.— Т. З.), как мне ни одна гора не была слишком высока, ни одна шахта слишком глубока, ни одна штольня слишком низка и ни одна пещера не казалась слишком запутанным лабиринтом, я вспоминаю частности и хочу сочетать их в общую картину»<sup>19</sup>. (И здесь мы чувствуем гетевское стремление к единой общей картине.)

Первое впечатление от геологических карт удивительно гармонично. Несмотря на всю пестроту, сочетание цветовых пятен рождает ощущение законченного произведения живописи. И, оказывается, впечатление это не случайно! У истоков цветовой легенды современных геологических карт была легенда, разработанная Гете для карты Кеферштейна на основании его знаний в области физиологической оптики, и в частности с учетом воздействия на наш глаз шкалы дополнительных цветов. Такое, казалось бы, неожиданное и действенное приключение нашло его параллельное увлечение геологией и физиологической оптикой!

Важнейшим созданием Гете-натуралиста, прославившим его имя в Европе и в России, явилась его уникальная, создававшаяся 50 лет коллекция, о которой Гете говорил, что она собиралась не под настро-

<sup>18</sup> S e m p e r M. D. Op. cit., S. 235.

<sup>19</sup> Канаев И. И. Цит. соч., с. 406.



Скальные выходы гранита в Фихтельгебирге. Рисунок И. В. Гете (1785).

ние, не произвольно, а по плану и заведомо, так что он учился чему-то от каждой новой вещи. Коллекция Гете насчитывала 18 тыс. образцов, примерно половину ее составляли минералы и горные породы, остальное — ископаемая фауна и остеологические экспонаты.

«Собирание коллекций, — пишет об этом его серьезном увлечении Вернадский, — было для Гете не препровождением времени любителя-знатока, оно было одним из способов его научной работы».<sup>20</sup> Большая часть экспонатов этой коллекции, которую можно рассматривать как образец «героического века минералогии», была собрана Гете лично в его многочисленных путешествиях по Европе. Пешком и верхом обошел и извездил он Гарц и Тюрингию, Саксонию и Рудные Горы, дважды путешествовал по Швейцарии и Италии, наездами бывал в Австрии, Богемии, Польше.

«Надо было видеть, как крепко и твердо он ступал по земле, как надменно шагал,

уверенно неся свое ловкое тело... он никогда не спотыкался на самых опасных дорогах, никогда не скользил и не падал, а легко и уверенно шел по льду, по узкому следу, по крутым пешеходным тропам, вырубленным в скалах»<sup>21</sup>, — вспоминал Ример.

В письме к своей будущей жене Кристине Вульциус Гете писал, что искать и находить было для него величайшим праздником.

В преклонном возрасте он изучал окрестности Карлсбада, где им были открыты карлсбадские двойники и собрана оригинальная коллекция шпрудельштейнов — характерных натечных образований арагонита.

При обработке минералогической и петрографической части своей обширной коллекции Гете придерживался главным образом регионального принципа, которому подчинена большая часть его личных сборов. В коллекции Гете выделяются, например, такие разделы, названные Гете «сюитами»: Тюрингский лес, Карлсбад, Богемия, Шнееберг, Фихтельберг, Гессен-Дармштадт, Итальянская поездка, сюита хризоз-

<sup>20</sup> Вернадский В. И. Избранные труды по истории науки. М., 1981, с. 262.

<sup>21</sup> Riemer F. W. Mitteilungen über Goethe. Leipzig, 1921, S. 56—57.

празов из Козелица. Гете считал необходимым описывать ассоциации минералов, приуроченных к месторождению или региону. Характерно, что еще во время работ по восстановлению Ильменау, Гете в своей инструкции, разработанной им для молодого геолога И. Фойгта, вменил ему в обязанность составление карты минералов Тюрингии. В подобном подходе к изучению минералогии Гете является предтечей региональной (или топографической) минералогии.

Наряду с этим минералогический раздел коллекции обработан Гете по новейшей по тем временам системе А. Г. Вернера, впервые отделившего минералы от горных пород и разделившего их на четыре класса: зёмли, соли, металлы и горючие ископаемые.

Интересно, что в коллекции Гете было немало поистине драгоценных камней с о-ва Цейлон, из Индии и Бразилии. Немало уникальных, в том числе и драгоценных, минералов получал он из России. Среди них диоптаз из Алтын-Тюбе, крокоит из Березовского месторождения на Урале, гранаты с Курильских о-вов, бериллы и топазы с Адун-Чилона в Даурии, топазы, цирконы, аквамарины, малахит из различных месторождений Урала, аметисты с Волк-острова на Онежском озере, самородки серебра, золота и платины с различных приисков Урала и Сибири. Как же попали столь драгоценные экспонаты из месторождений России к Гете? Некоторые сведения об этом можно найти в его переписке.

Вот перед нами письмо русского министра финансов Е. Ф. Канкринна от 15 (27) июня 1830 г.:

«Доброта, с какою Вы, Ваше превосходительство, любезно доставили доступ к Вашим собраниям некоторым путешествующим питомцам нашего Горного корпуса, внушила мне мысль присоединить небольшой вклад. Я пересылаю при этом, с ведома Императора, кусочек самородного золота (весом 24 золотника) и кусочек самородной платины (весом 23 золотника 69 долей); оба из золотых приисков Уральских гор, где подобные куски достигают до 25 ф. Вклад этот, хотя мал, но не лишен значительности. Позвольте мне Вам, замечательному писателю, из произведений которого я много читал и, надеюсь, понял, выразить мое почтение...»<sup>22</sup> Гете в ответе Канкрину писал: «Уже шестьдесят лет, как преданный естествознанию, и осо-

бенно ревностно минералогии и геологии, я собираю кое-что значительное, чтобы путем постепенно накопленных знаний приобщиться к развивающейся культуре.

Я с удовольствием признаюсь, что важные открытия бесценных рудников в столь богатом русском государстве возбуждают все мое внимание, и чем более я получаю сведений о них, тем более желаю иметь некоторые образцы, чтобы через непосредственное созерцание достигнуть как бы более глубокого усмотрения этих значительных явлений природы...»<sup>23</sup>

Многолетняя дружба связывала Гете и с такими русскими минералогами-любителями из высших придворных кругов России, как князь Д. А. Голицин (минералогическая коллекция которого легла в основание собрания Йенского университета)<sup>24</sup>, граф А. К. Разумовский, граф А. К. Строганов. Одним из его поставщиков великолепных русских минералов был уехавший в Россию друг — профессор медицины Х. И. Лодер. Интерес Гете к минералогии и геологии был широко известен как в Европе, так и в России. В Германии этот интерес обогатил его дружбой с такими интереснейшими современниками, как А. Гумбольдт, основатель описательной минералогии, и создатель непутистической концепции А. Г. Вернер, швейцарский кристаллограф Ф. Сорэ. В России Гете в 1805 г. избирается членом Московского общества испытателей природы, а в 1818 г. становится почетным членом Петербургского минералогического общества, а в 1826 г. — почетным членом Петербургской Академии наук. Участие Гете в научной жизни России не остается лишь на бумаге. Он подбирает и отправляет в Петербург коллекции минералов и пород, участвует в подборе профессоров для организующегося Харьковского университета, принимает русских учеников Фрейбергской горной академии у себя в Веймаре.

В записях Петербургского минералогического общества 1819 г. значится, что от Гете получены 153 образца минералов и горных пород. Аналогичную запись мы находим в печатном органе Минералогического общества от 1830 г.: «Гете, знаменитый германский поэт, прислал значительное число горных пород и других ископаемых, находящихся в окрестностях Карлсбада в Богемии, с подробнейшим

<sup>23</sup> Там же.

<sup>24</sup> Цверева Г. К. Страница истории русско-немецких научных связей конца XVIII в. — Природа, 1982, № 6, с. 95.

<sup>22</sup> Дурыйлин С. Цит. соч., с. 181.

печатным описанием оных на немецком языке. Сие приношение тем приятнее было для общества, что получено от мужа, коего прелестные творения известны всему свету»<sup>25</sup>.

Гете-ученый оставил заметный след в науках о Земле. Наш краткий обзор лишь подтверждает слова В. И. Вернадского: «Для Гете чувство и понимание природы в их художественном выражении и в их научном искании были одинаково делом жизни, были нераздельны».<sup>26</sup> И для нас сегодня при всей несомненности заслуг Гете в минералогии и геологии, он прежде всего великий поэт. Поэтический гений Гете как губка впитывает его впечатления от постижения природы. «Я никогда не созерцал природы с поэтической целью. Я начал с того, что рисовал ее, потом я ее научно изучал таким образом, чтобы точно и ясно понимать естественные явления. Так я мало-помалу выучил природу наизусть, во всех ее мельчайших подробностях, и когда мне этот материал был нужен как поэту, он был в моем распоряжении и мне незачем было грешить против правды»<sup>27</sup>, — так определяет сам Гете равновесие и нераздельность в научном и художественном восприятии природы.

Поскольку мы сознательно ограничили рассмотрение естественнонаучных работ Гете лишь его трудами в геологии и минералогии, попытаемся теперь проследить отражение его геологических и минералогических познаний в литературном творчестве.

Первую яркую вспышку славы принес молодому Гете его роман в письмах «Страдания юного Вертера» (1774). И уже в этом, по существу, первом романе появляется одно интереснейшее вещество минерального происхождения — болонский (или бононский) камень. Припомним эпизод романа, в котором главный его герой Вертер, не имея возможности увидеть предмет своей страсти — Лотту, посылает к ней слугу, и в письме об этом событии мы читаем: «Говорят, что бононский камень, если положить его на солнце, впитывает в себя солнечные лучи, а потом некоторое время светится в темноте. Чем-то подобным был для меня мой слуга. Оттого, что ее глаза останавливались на его лице, баках, на пуговицах ливреи, на воротнике

плаща — все это стало для меня такой святыней, такой ценностью!»<sup>28</sup> Поистине подобное сравнение могло родиться лишь в век просвещения! Оно характеризует не только накал страстей героя романа, но и его «образовательный ценз». Гете, увлеченный явлением люминесценции, с достаточным основанием полагает, что и его читатели слышаны о поразительном эксперименте сапожника Кассариолы из Болоньи, открывшего в 1602 г. сине-фиолетовую фосфоресценцию бононского камня. Сам Гете многие годы не утрачивает интереса к этому явлению. Именно о «болонском свете» и (и, кстати, о ледниках) спрашивает Фауста Мефистофель в сцене диспута, входившей по первоначальному замыслу Гете в I часть Фауста. О своих личных находках болонского шпата (т. е. конкреций барита) пишет он в одной из дневниковых записей «Итальянского путешествия», упоминая неправильные яйцевидные конкреции, облепленные глиной. Об экспериментах Гете с этим минералом мы уже упоминали в связи с его работой над «Учением о цвете».

Великолепные драгоценные камни сверкают на страницах многих произведений великого поэта. Коварный Рейнеке-Лис рассказывает о волшебном зеркале из берилла, якобы очищающем и преобразующем все отраженное в нем. В «Сказке» из цикла новелл «Рассказы немецких беженцев» заключена сложнейшая символика связи живого и неживого в природе, переданная через превращения сказочных героев в самоцветы и каменной снова в живые существа: оникс возвращается к жизни в облике миловидной собачки, а таинственный персонаж зеленая змейка рассыпается на горсть зеленых самоцветов — смарагдов, хризопразов, хризолитов. Излюбленные камни Востока — жемчуг, смарагд, рубин, карнеол придают восточный колорит циклу поздней лирики Гете «Западно-восточному дивану».

Интересно отметить, что в поздних произведениях Гете заметно расширяется диапазон минералов, но при этом сохраняется стремление писателя придавать камню символический смысл. Так «кошачье золото» — выветрелый биотит, встречающийся на первых же страницах романа «Годы странствий Вильгельма Мейстера», служит символом светлого, ложного. «Крестовик» (хиастолит) — символом веры. Тут Гете опирается на христианскую

<sup>25</sup> Соловьев С. П. — Зап. Всес. минерал. об-ва, 1958, ч. 87, вып. 2, с. 206.

<sup>26</sup> Вернадский В. И. Цит. соч., с. 243.

<sup>27</sup> Роллан Р. Собр. соч., т. 14, М., 1958, с. 537.

<sup>28</sup> Гете И. В. Собр. соч., т. 6, с. 34.

традицию, приписывающую этому черному минералу, имеющему в поперечном сечении крест, свойство амулета.

Одно из последних стихотворений Гете посвящено еще более редкому минералу — эгерану — разновидности везувияна, имеющей облик лучистых краснобурных агрегатов. Этот красивый минерал, найденный в горах Хаслау и впервые описанный А. Г. Вернером, привел в восторг поэта, посвятившего месторождению эгерана сперва небольшую заметку, а позднее стихи.

#### Благодарность геогноста Август 1831

Скалы древнего Хаслау,  
Вы славнее многих стран.  
Утверждает вашу славу  
Здесь открытый эгеран.  
Все его найти мечтали,  
Нам счастливый случай дан;  
Как кувалды здесь стучали,  
Знает только эгеран.  
Что алломы? Что гранаты?  
Нам сегодня не до них.  
Геогностов пыл понятный  
Лишь с приходом ночи стих.

Нам подходят все находки,  
Но делить их с вами, друг,—  
Это счастье! — Пусть уходит  
Все в ладони милых рук!<sup>29</sup>

Немало минералогических и геологических реминисценций встречаем мы в «Фаусте» — величайшем произведении Гете, которое сам поэт называл «главным делом жизни».

В начале I части «Фауста» в рассказе молодого Фауста о его алхимических опытах, проводимых вместе с отцом, Гете почти «цитирует» алхимический рецепт получения сулемы из соединений ртути и хлора<sup>30</sup>. В начале II части Мефистофель коварно предлагает обанкротившемуся императору поправить финансы, выпустив бумажные ассигнации под обеспечение еще не добытых из земли сокровищ (что живо напоминает о попытке самого Гете восстановить с той же целью рудники Ильменау). И уже совершенно открыто (с «неустранимой отвагой», по выражению Томаса Манна) Гете вводит прямо в текст II части «Фауста» центральный конфликт, имевший

место в современных ему научных геологических кругах, — спор непунистов и плутонов, к которому не остался равнодушен и Гете, принявший точку зрения геолога-непуниста А. Г. Вернера, более близкую его собственной эволюционной концепции мира. В «Фаусте» в сцене вальпургиевой ночи Гете вкладывает непунистические взгляды в уста философа Фалеса, возражающего Анаксагору, прообразом которого служил английский геолог-плутолист Дж. Геттон. Приведем несколько строк из нее в переводе И. И. Шафрановского<sup>31</sup>.

Анаксагор  
Огонь чадающий образует скалы.

Фалес  
Вода — всему живущему начало...

Анаксагор  
Скажи, Фалес, ты мог бы в ночь одну  
Создать из тины эту крутизну?

Фалес  
Природа льется жизненным потоком,  
Ей ночи, дни, часы не служат сроком.  
Во всех ее делах царит закон,  
Велик без всякого насилия он.

Анаксагор  
Насилье было! — Жгли огнем и паром  
Плутон с Эолом землю в гнев яром.  
Земная древняя кора прорвалась,  
И новая гора образовалась.

Решение этого спора мы находим в следующей тираде Фалеса — подлинном гимне во славу непунистов:

Мне истина ярко предстала —  
Из воды все возникло сначала!  
Все собою вода оросила!  
Океан, — ты великая вечная сила!  
Громады туч сгущающий,  
Реки всюду вокруг посылающий,  
Потоки поглощающий,  
Ты действуешь всюду — в долах и в горах!  
Ты свежую жизнь сохраняешь в веках!

В дальнейшем рассказ Мефистофеля о том, как черти стремились вырваться из преисподней, заканчивается насмешкой над плутористами:

Наполнилась вся бездна серным газом —  
И стены ада лопнули, и разом  
Потрескалась земная вся кора:

<sup>29</sup> Перевод мой. — Т. З.

<sup>30</sup> Подробнее см.: Рабинович Л. В. Алхимия как феномен средневековой культуры. М., 1979.

<sup>31</sup> Шафрановский И. И. А. Г. Вернер — знаменитый минералог и геолог. Л., 1968, с. 156.

Здесь очутилась пропасть, там гора.  
 Переверотов было тут немало:  
 Вершина дном, а дно вершины стало,  
 И люди так же точно все потом.  
 В теориях поставили вверх дном<sup>32</sup>.

С особой отчетливостью геологические познания Гете изложены на страницах романа «Годы странствий Вильгельма Мейстера», в котором один из главных героев, горняк по профессии, носит символическое имя Монтан — «гора». Он приводит Вильгельма Мейстера в горы на своеобразный «симпозиум» горняков. Введение этого эпизода позволяет Гете изложить все имевшиеся к тому времени гипотезы о мироздании:

«Многие утверждали, что своим обликом земля обязана покрывавшим ее, но постепенно схлынувшим водам, и упоминали как аргумент в свою пользу остатки обитавших в море организмов, находимые и на самых высоких вершинах, и на пологих холмах. Другие, вопреки им, со страстью раскаляли и расплавляли все и вся и приписывали всю власть огню, который, наделав довольно дел на поверхности, скрылся в глубину, но продолжал свою работу через посредство неистовой свирепствующих в море и на суше вулканов, а именно: последовательными извержениями и наслоениями лавы создавал самые высокие горы; несогласным всячески внушали, что без огня ничего нельзя раскалить, а деятельный огонь предполагает наличие очага. Хотя на взгляд все сказанное отлично согласовывалось с опытом, многие этим не удовлетворились, но утверждали так: мощные, вполне сложившиеся в лоне земли формации, выталкиваемые вверх неодолимыми эластическими силами, прорывали земную кору, дробя ее, а осколки разлетались в этой буре не только на близкое, но и на дальнее расстояние; при этом ссылались на многие явления, которые без такой предпосылки нельзя было бы объяснить».<sup>33</sup>

Постижение тайн земных недр приводит, по мысли Гете, к формированию гармоничной личности, к разрешению определенных социальных задач: «Земля и ее недра — это мир, где имеется все необходимое для самых высоких земных потребностей, тот сырой материал, обработка которого есть дело высших человеческих способностей; избрав этот духовный путь, мы непременно обретем любовь и участие,



Минерал гетит (FeO·OH), названный в честь И. В. Гете.

придем к свободному и целесообразному труду».<sup>34</sup>

Масштабное, космическое виденье вселенной, ощущение нераздельной принадлежности человека миру природы, которое окрыляет нас в философской лирике поэта, несомненно, рождено в его неустанном изучении природы, и особенно геологии с ее грандиозными по масштабу процессами:

Вновь переплавить сплав творенья,  
 Ломая слаженные звенья,—  
 Заданье вечного труда.  
 Что было силой, станет делом,  
 Огнем, вращающимся телом,  
 Отдохновеньем — никогда.  
 Пусть длятся древние боренья!  
 Возникновенья, измененья —  
 Лишь нам порой не уследить.  
 Повсюду вечность шевелится,  
 И все к небытию стремится,  
 Что бытию причастным быть.<sup>35</sup>

И как современно, как дружественно и мажорно звучат сегодня слова Гете, обращенные ко всем естествоиспытателям: «...пусть будет безгранична даль, непроницаема близь, все это так; и все-таки — пусть никогда не определяют и не ограничивают, насколько далеко и насколько глубоко способен человеческий ум проникнуть в свои тайны и в тайны мира!»<sup>36</sup>

<sup>32</sup> Гете И. В. Фауст, ч. II. Пер. Н. А. Холодковского. М.—Л., 1936, с. 235.

<sup>33</sup> Гете И. В. Собр. соч., т. 8, с. 229.

<sup>34</sup> Там же, с. 440.

<sup>35</sup> Гете И. В. Собр. соч., т. 1, с. 465.

<sup>36</sup> Лихтенштадт В. О. Цит. соч., с. 500.

## Бурение на плато Роколл

(81-й рейс «Гломара Челленджера»)

**А. Е. Сузюмов,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

Этот рейс «Гломара Челленджера» был последним из рейсов, выполнявшихся в Атлантическом океане по программе изучения пассивных окраин континентов<sup>1</sup>. Начался рейс 27 июля в Саутгемптоне (Великобритания) и завершился 16 сентября в Понта-Делгада, на Азорских о-вах. Руководил экспедицией Д. Робертс (Институт океанографических наук, Великобритания) и Д. Шниткер (Университет Майна, США). Во время рейса были пробурены четыре скважины в западной части плато Роколл, расположенного к югу от Исландии (на широте Шотландии). Эта довольно крупная подводная структура — микроконтинент — простирается с юго-запада на северо-восток более чем на 500 км, а в поперечном направлении ее протяженность достигает 400 км. Почему судно вновь вернулось в этот район, где раньше бурение

уже проводилось<sup>2</sup> (скважины 403 и 404)?

Сейсмические исследования показали, что внутренняя структура континентального склона плато Роколл совершенно не похожа на то, что известно о других, более южных районах Атлантического океана. Здесь нет погребенных под осадочными толщами ступеней материкового фундамента, которые были разбурены, например, в 79-м и 80-м рейсах<sup>3</sup> и которые характерны для остальной, более южной части Атлантики. Напротив, фундамент полого спускается в довольно мелководную котловину. Такое же строение имеют континентальные склоны Гренландии и Норвегии, где буровые работы затруднены из-за сложной ледовой обстановки. Таким образом, бурение на плато Роколл должно было дать ответ на вопрос о фундаменте склонов всей Северной Атлантики, природа которого все еще оставалась загадочной (ведь предыдущими скважинами фундамент там не был достигнут). Стояли перед участниками экспедиции и другие важные задачи, в частности изучить историю климата Северного полушария, а также исто-

рию циркуляции водных масс в северных бассейнах.

Все скважины 81-го рейса дошли до фундамента, который, как выяснилось, сложен пластами базальтов, переслаивающихся с вулканическими брекчиями, туфами, аргиллитами. Скважина 555 прошла сквозь эту толщу почти на 300 м.

По данным глубоководного бурения, вулканическая деятельность завершилась на плато Роколл в раннем эоцене, однако сравнение геологических разрезов в скважинах показало, что происходило это все же не одновременно: в сводовой части плато (скважина 555) вулканизм прекратился около 55 млн лет назад, на его склоне (скважина 553) — 53 млн лет назад, а непосредственно за пределами плато (скважина 554) — 52 млн лет назад.

Осадочный чехол плато Роколл состоит из двух частей. Нижняя — вулканогенно-терригенная толща раннеэоценового возраста — сложена в основном аргиллитами с прослоями песчаников и туфов (скважина 555). Вниз по склону разрез становится более песчаным (скважины 552, 553), а его мощность сокращается с 300 до 250 м. Начиная с середины раннего эоцена и до середины миоцена скорость седиментации резко снизилась. На своде плато осадков этого возраста нет вообще — здесь отмечается перерыв длительностью около

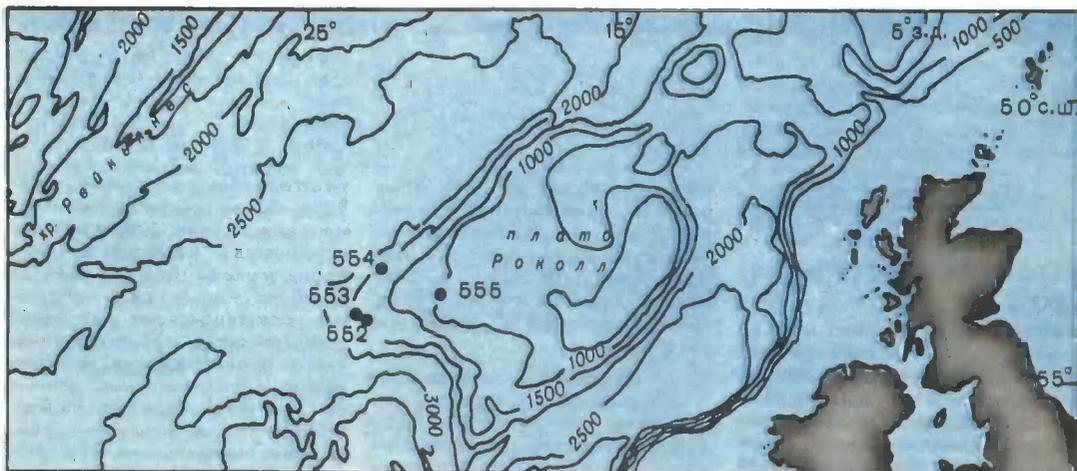
<sup>1</sup> См.: 48-й рейс «Гломара Челленджера». — Природа, 1977, № 3.

<sup>2</sup> См.: Природа, 1982, № 8, с. 98; № 10, с. 102.

<sup>1</sup> JOIDES Journal, 1981, v. VII, № 3, p. 21—33.

### Скважины 81-го рейса «Гломара Челленджера»

№ скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина скважины, м	Выход зерна, %
	с. ш.	з. д.			
552	56°02,56	23°13,39	2311	183	99,7
553	56°03,23	23°20,61	2339	682,5	34,4
554	56°17,41	23°31,69	2584	209	22,2
555	56°33,70	20°46,93	1669	964	97,0



Расположение скважины 81-го рейса «Гломара Челленджера».

30 млн лет; на склоне за это время накопилось, по данным скважины 553, менее 2 м осадков. Начиная с середины миоцена (13 млн лет назад) процесс накопления осадков проходил в более глубоководных условиях. Об этом свидетельствует тот факт, что верхняя толща осадков сложена фораминиферо-нанопланктонным мелом и илом. Мощность этой толщи меняется от 300 м на своде плато до 250 м на его склоне. Скорость седиментации на протяжении неогена оставалась высокой — более 2 см/1000 лет.

По данным скважины 554, пробуренной на внешнем поднятии, которое примыкает к западной окраине плато Рокколл и, в отличие от него, подстилается океанической корой, осадочный разрез повторяет в сокращенном виде разрез скважин 552 и 553.

Участники экспедиции реконструировали историю этого региона средующим образом. Первичный рифт отделил Северную Америку от Евразии около 90 млн лет назад (теперь это — трог, разделяющий плато Рокколл и Великобританию). 76 млн лет назад начал образовываться в результате расширения дна Лабрадорский океанический бассейн, и в ходе этого процесса сформировался южный склон

плато Рокколл. Затем, 56 млн лет назад, возник рифт между плато и Гренландией, после чего этот микроконтинент оказался полностью окруженным пространствами с океанической корой. Новый рифт сначала развивался в континентальных субарктальных или мелководно-морских условиях. Мощные излияния базальтовых лав перекрыли континентальное основание, сформировав ровную поверхность фундамента плато. Постепенно рифт смещался к западу, и наконец, 52 млн лет назад, к западу от плато образовалась первая «порция» океанической коры — внешнее поднятие. В эоцене на всей исследованной площади поверх базальтов быстро накапливались в мелководных условиях терригенные и вулканогенные осадки.

В осадочном разрезе нашел отражение ряд перестроек в направлении и скорости расширения дна океана. Например, в период между 38 и 10 млн лет назад скорость расширения дна составляла всего лишь 0,3 см/год, что хорошо согласуется с чрезвычайно тонким слоем осадков, накопившихся за это время. В дальнейшем скорость возросла, начал формироваться срединно-океанический хребет Рейкьянес. Континентальный склон плато постепенно погружался, и там накапливались карбонатные осадки.

Своеобразием развития этого региона Атлантического океана явилась длительная фаза

континентального вулканизма, предшествовавшая образованию океанического бассейна. Вероятно, для всей Северной Атлантики, которая начала образовываться 52 млн лет назад, т. е. позднее других частей Атлантического океана, были характерны такие же условия развития, как и для западного склона плато Рокколл. Участники экспедиции справедливо сравнивают ранний этап формирования рифтов Северной Атлантики с современной историей рифтов Эфиопии, где на континентальном основании развивается в настоящее время мощный базальтовый вулканизм.

Одним из интересных достижений 81-го рейса следует считать получение наиболее полного для высоких широт разреза миоцен-плейстоценовых осадков. Это позволило выделить многочисленные климатические колебания, характерные для Северного полушария и, в частности, установить, что оледенение началось здесь 2,2—2,4 млн лет назад.

Ряд перерывов в процессе накопления осадков, отмеченные в среднем миоцене и в плейстоцене, могут указывать на такие события в океанологической истории, как погружение Фарро-Исландского порога ниже уровня океана (что дало возможность северным холодным водным массам проникнуть на юг и размыть ранее отложившиеся осадки), а также усиление Гольфстрима.

## Космические исследования

**«Салют-7» с июня по август**

В июне — августе 1982 г. космонавты А. Н. Березовой и В. В. Лебедев продолжали исследовательскую работу<sup>1</sup>.

4 июня после завершения работ по разгрузке автоматического грузового корабля «Прогресс-13», он был отделен от станции, а 6 июня вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом Тихого океана и прекратил свое существование. В июле была выполнена также разгрузка автоматического корабля «Прогресс-14», доставившего на орбиту топливо, оборудование и научную аппаратуру.

Большое место в программе работ экипажа по-прежнему занимают медико-биологические исследования. Космонавты систематически упражнялись на комплексном тренажере и велоэргометре; во время специальных «медицинских» дней экипаж подвергался комплексным обследованиям.

Продолжались биологические эксперименты по культивированию высших растений. В космических оранжереях «Оазис», «Вазон» и «Светоблок» выращивались горох, пшеница, лук; велось наблюдение за развитием и ориентацией растений, окраской листьев. На установке «Биогравитат» изучалось развитие высших растений в условиях искусственной силы тяжести, а на установке «Магнитогравитат» — воздействие искусственного магнитного поля на проростки льна в условиях невесомости.

Много времени экипаж уделял геофизическим экспериментам, исследованиям земной атмосферы, а также наблюдениям и фотосъемкам Земли с

целью изучения ее природных ресурсов. Для оценки параметров атмосферы, непосредственно окружающей станцию, а также земной атмосферы и ионосферы использовалась масс-спектрометрическая аппаратура «Астра-1».

Отрабатывая методы исследования из космоса состояния сельскохозяйственных угодий, космонавты проводили сбор оперативной информации о различных районах страны. Предыдущие пилотируемые полеты показали высокую эффективность наблюдений и фотографирования земной поверхности для определения общих закономерностей ее структуры. По заданиям геологов для более рационального планирования поисков полезных ископаемых космонавты продолжали исследовать крупные кольцевые образования и разломы земной коры. Велось также наблюдение акватории Мирового океана в целях обнаружения районов промыслового лова рыбы.

В середине июня космонавты смонтировали и испытали новую электронагревательную печь «Магма-Ф» технологической установки «Кристалл». По сравнению с предыдущими конструкциями у нее большие размеры электронагревательной камеры; кроме того, она снабжена устройством для регистрации температуры в различных зонах печи.

Важное место в программе работ занимали астрофизические исследования. На станции установлены зеркальный рентгеновский телескоп РТ-4М, разработанный в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР, и спектральный рентгеновский телескоп СКР-02, созданный несколькими организациями во главе с Институтом космических исследований АН СССР и Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга. Оба прибора дополняют друг друга: РТ-4М регистрирует мягкое

рентгеновское излучение, СКР-02 — более жесткое, характерное для горячих рентгеновских источников. Космонавты уже провели около 10 экспериментов по обнаружению новых источников рентгеновского излучения галактического и внегалактического происхождения и получению дополнительных данных об уже известных источниках. В числе этих источников — сейфертовские галактики, отличающиеся бурными нестационарными процессами, двойные звездные системы, содержащие видимые и невидимые в оптическом диапазоне компоненты, вспыхивающие рентгеновские источники. В частности, в одном из экспериментов исследовались характеристики переменного источника вблизи центра Галактики и мощного рентгеновского источника в Лебеде X-1.

Космонавты выполнили также исследовательские работы с помощью аппаратуры, созданной в соответствии с программами международного сотрудничества. 20 июля они провели астрофизический эксперимент с использованием французской аппаратуры «ПИРА-МИГ»; была осуществлена контрольная проверка электронного фотометра, изготовленного в ЧССР и предназначенного для изучения пылевого слоя, образованного микрометеоритными частицами в атмосфере Земли.

30 июля А. Н. Березовой и В. В. Лебедев выходили в открытый космос, где провели демонтаж и частичную замену аппаратуры, установленной на внешней поверхности станции. В помещении станции были перенесены прибор для регистрации микрометеоритов, панели с биополимерами, оптическими и различными конструктивными материалами, которые находились снаружи станции с момента ее выведения на орбиту; вместо демонтированных блоков установлены аналогичные новые.

Во время работы в открытом космосе были продолжены

<sup>1</sup> О начальном этапе работы экипажа см.: — Природа, 1982, № 8, с. 103.

испытания скафандров полужесткого типа, усовершенствованных с учетом опыта при проведении работ в открытом космосе экипажами станции «Салют-6». Время пребывания А. Н. Березового и В. В. Лебедева в открытом космосе составило 2 ч 33 мин.

С 26 июня по 2 июля 1982 г. основной экипаж станции работал вместе с членами советско-французской международной экспедиции — космонавтами В. А. Джанибековым, А. С. Иванченковым и Ж.-Л. Кретьеном<sup>2</sup>.

С. А. НИКИТИН  
Москва

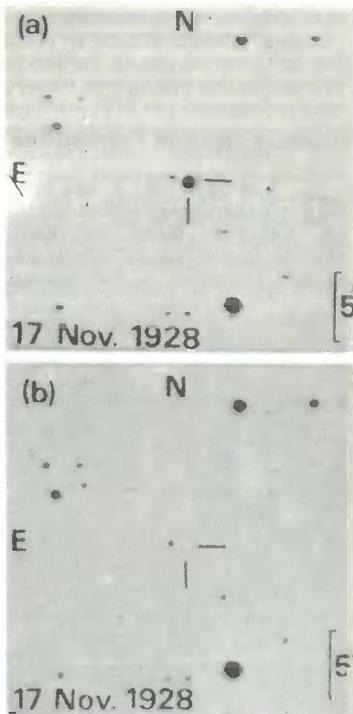
<sup>2</sup> Никитин С. А. Космический полет советско-французского международного экипажа. — Природа, 1982, № 9.

Астрономия

**Оптический объект на месте источника  $\gamma$ -вспышек?**

В последние годы с помощью специальных спутников интенсивно исследуются вспышки  $\gamma$ -излучения, которые обычно длятся секунды. Если несколько спутников одновременно зарегистрируют такую вспышку, то направление на источник  $\gamma$ -излучения можно определить методом триангуляции<sup>1</sup>. Так было найдено положение нескольких источников  $\gamma$ -всплесков с точностью до 1'. Однако до сих пор ни один оптический объект в этих областях не был идентифицирован с источником  $\gamma$ -всплесков.

Недавно Б. Шефер (Центр космических исследований Масачусетского технологического института) обнаружил оптиче-



Фотопластины из коллекции обсерватории Гарвардского колледжа. В е р х — пластина MF 12559; между черточками находится изображение оптической вспышки 17 ноября 1928 г. В и з у — пластина MF 12558, снятая за 45 мин до момента оптической вспышки.

ское проявление одного из источников  $\gamma$ -всплесков. Он исследовал серию из 6 архивных фотопластин коллекции обсерватории Гарвардского колледжа, снятых 17 ноября 1928 г. в Блумфонтейне (Южная Африка). На них заснята часть южного созвездия Скульптора, находящаяся в нескольких градусах от Южного полюса Галактики. (19 ноября 1978 г. именно в этой области была зарегистрирована мощная  $\gamma$ -вспышка.)

На одной из пластин виден оптический объект (выглядит как звезда 10-й величины), который отсутствует на остальных пластинах. Каждая пластина экспонировалась в течение 45 мин. Детальный анализ изо-

бражения показал, что оптическая вспышка была кратковременной, длящейся менее 10 мин. Изображения других звезд на пластине имеют слабые вытянутые хвосты длиной в 17", вызванные, по-видимому, неточным следованием телескопа за вращением небесной сферы во время экспозиции. Быстро исчезающая звезда, отождествляемая со вспышкой, такого хвоста не имеет.

По мнению Шефера, изображение вспышки не может быть дефектом фотоэмульсии, поскольку оно, так же как и изображения остальных звезд, асимметрично (вытянуто по направлению к центру пластины). Возможно, след на пластине оставил метеор, летящий прямо на наблюдателя. Однако вероятность такого события крайне мала и составляет 10<sup>-10</sup>.

Точная продолжительность оптической вспышки 1928 г. неизвестна. Шефер предполагает, что она длилась 1 с. В таком случае на небе на какое-то мгновение вспыхнула звезда 3-й величины. Столь яркую вспышку можно заметить невооруженным глазом.

Считается, что источники  $\gamma$ -вспышек расположены в нашей Галактике. Если это так, то источник вспышки 19 ноября 1978 г., находящийся в нескольких градусах от Южного полюса Галактики, может быть расположен не дальше чем на 1 кпс от Солнечной системы (иначе он находился бы далеко за пределами диска Млечного Пути).

Предел в 1 кпс позволяет сделать дальнейшие заключения. Наблюдения, проведенные недавно М. Лиллер на 4-метровом телескопе в Серра-Тололо, показали, что на месте  $\gamma$ -вспышки 19 ноября 1978 г. находится, по-видимому, чрезвычайно слабая звезда 23-й величины. Если предположить, что звезда удалена от нас на расстояние в 1 кпс, то она должна иметь 13-ю звездную величину. Тогда это может быть один из слабых объектов, таких как белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры или наиболее холодные, наименее массивные и, следовательно, самые тусклые звезды главной последовательности класса М.

<sup>1</sup> Подробнее об этом методе см.: Голанецкий С. В., Мазец Е. П. «Венера-11 и -12» исследуют космические всплески. — Природа, 1979, № 10.

Если именно такая звезда и была источником  $\gamma$ -вспышки, то в 1928 г. она за одну секунду стала ярче в  $10^5$  раз.

Nature, 1981/1982, v. 294, № 5843, p. 722—724 (Великобритания).

#### Космические исследования

### Феба — астероид, захваченный Сатурном!

С помощью «Вояджера-2» получены снимки Фебы — наиболее удаленного спутника Сатурна. По ним впервые точно определен диаметр Фебы — около 200 км. По яркости поверхности Феба резко отличается от других спутников Сатурна, очень светлых и состоящих в основном из льда. Это позволяет предположить, что она имеет иной состав, возможно, сходный с составом спутников Марса — Фобоса и Деймоса.

Большинство спутников планет, в том числе и Луна, вращаются вокруг оси синхронно с обращением вокруг планеты; в результате они всегда повернуты к планете одним полушарием. Феба — единственный из спутников Сатурна, вращающийся несинхронно: период ее вращения вокруг оси составляет 9—10 ч, а оборот вокруг Сатурна она совершает за 550 земных суток. Орбита Фебы расположена в плоскости эклиптики, а не в плоскости экватора Сатурна, как у остальных его спутников. Феба движется по орбите в направлении, противоположном движению всех остальных спутников и вращению самого Сатурна и его колец.

Все перечисленные данные наблюдений позволяют предположить, что этот спутник Сатурна не образовался вместе с другими из туманности, окружающей планету, а был захвачен на орбиту вокруг Сатурна из пояса астероидов. С этим согласуются и данные о наличии астероидов, движущихся по сильно вытянутым орбитам, пересекающимся с орбитой Сатурна.

Voyager Bulletin, 1981, № 66, p. 1 (США).

#### Космические исследования

### Первые снимки Гипериона

В августе 1981 г. при пролете «Вояджера-2» через систему Сатурна были получены снимки сравнительно небольшого его спутника — Гипериона,



Изображения Гипериона с расстояния 1,2 млн. км, 700 тыс. км и 300 тыс. км [сверху вниз]. Интервал между верхним и средним снимками 14 ч, между средним и нижним — 12 ч. В правой части нижнего снимка заметен освещенный Солнцем крупный уступ.

находящегося между орбитами Титана и Япета. По этим снимкам были установлены экваториальный поперечник Гипериона — 360 км и полярный — 210 км. Таким образом, форма этого спутника сильно сплюснута.

Поверхность Гипериона отражает 28% падающего на нее света. Такая величина яркости более чем в два раза ниже, чем у крупных спутников Сатурна, однако гораздо выше, чем у спутников Марса — Фобоса и Деймоса, отражающих всего 5% света. Сравнительно высокая яркость Гипериона может, по мнению членов группы анализа изображений, полученных «Вояджерами» (США), указывать на значительную долю льда в его составе. Резких различий яркости между отдельными участками поверхности не обнаружено.

Поверхность Гипериона изрыта множеством кратеров, возникших, по-видимому, при столкновении спутника с крупными метеоритами. Поскольку орбита Гипериона, наблюдаемая в настоящее время, гравитационно неустойчива, предполагают, что спутник мог быть смещен с устойчивой орбиты сильным ударом метеорита и сейчас постепенно возвращается на прежнее место.

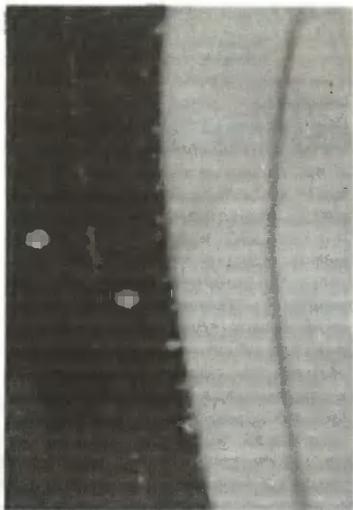
Lunar and planetary bulletin, 1981, № 28—29, p. 2 (США).

#### Космические исследования

### Малые спутники Сатурна

При исследовании системы колец Сатурна с помощью автоматической станции «Вояджер-2» получен снимок двух небольших спутников Сатурна (диаметр каждого около 200 км) движущихся с внешней и внутренней сторон узкого кольца F. Впервые они были обнаружены в ноябре 1980 г. «Вояджером-1». Тогда спутники находились далеко друг от друга, но так

Бурба Г. А. «Вояджер-1» в мире Сатурна.— Природа, 1981, № 7.



Малые спутники Сатурна, движущиеся близ узкого кольца F. Справа на светлом фоне кольца A видна дельта Эппа (темная полоса).

как скорость их движения по орбите различная — внутренний движется немного быстрее внешнего, — то ко времени пролета мимо Сатурна «Вояджер-2» спутники сблизились. Этот момент и запечатлен на снимке, где расстояние между спутниками всего 1800 км. Через 2 ч внутренний спутник обогнал внешний и занял лидирующее положение, постепенно удаляясь.

Подобные обгоны происходят каждые 25 дней. Своим гравитационным влиянием эти спутники сдерживают вещество в пределах узкого кольца F, не позволяя ему образовывать широкое кольцо, сравнимое с другими кольцами Сатурна.

Voyager Bulletin, 1981, № 65, p. 3 (США).

Планетология

Карта поверхности Меркурия

Г. Н. Каттерфельд (Все-союзное научно-производствен-

ное объединение «Аэрогеология») на основе фотографий, полученных американским космическим аппаратом «Маринер-10» в 1974—1975 гг., составил геолого-геоморфологическую карту поверхности Меркурия. Поскольку главным фактором эрозии на Меркурии, как и на Луне, является метеоритная бомбардировка, а не вода и ветер, как в земных условиях, формы его рельефа совпадают со структурными образованиями и морфология поверхности планеты отражает состав, возраст, строение и генезис отдельных ее частей. Знание этих особенностей важно для понимания того, какой была поверхность Земли на самых ранних — катархейской и архейской — стадиях, когда атмосфера и гидросфера не играли столь большой роли в преобразовании ее поверхности.

Основные формы рельефа на Меркурии — «материковые» равнины и «морские» бассейны, а также осложняющие их формы, среди которых наиболее широко распространены кратеры и цирки, характерные практически для всех стадий развития планеты. Свообразной чертой рельефа, неизвестной на Луне, являются высокие (от сотен метров до 3 км) уступы. Они имеют дугообразные извилистые очертания и протягиваются на десятки и сотни километров. Существование уступов — этих выраженных в рельефе разломов — указывает, возможно, на условия общепланетарного сжатия.

В развитии поверхности Меркурия выделено 3 этапа: опорный «морской», «доморской» и «послеморской»; каждый этап разделен на ряд периодов, всего их выделено 9.

В «доморскую» эру образовалась древнейшая «материковая» кора Меркурия с многочисленными уже плохо различимыми кольцевыми структурами и цирками. В «морскую» эру, как и на Луне, возникли бассейны, заполнявшиеся лавами. Для «послеморской», наиболее длительной эры, характерно образование наложенных цирков и кратеров, которые сохранили четко очерченные валы и склоны и имеют светлые радиально расходившиеся от центра «лучи». Как и на Луне, эти «лучи» образо-

ваны продуктами выброса материала при метеоритных ударах, однако, в отличие от Луны, длина таких лучей значительно меньше, что связано с большей величиной силы тяжести на Меркурии, и в связи с этим, с меньшим разбросом пород.

Сопоставление этапов развития поверхности Меркурия с эволюцией Луны позволяет сделать вывод не только о их принципиальном сходстве, но и о ряде различий.

Геоморфология, 1982, № 1, с. 13—21.

Физика

Дистанционная свето-термогенерация звука болидами

Иногда в атмосферу Земли попадают болиды, движущиеся со скоростью 30—50 км/с. Их полет сопровождается интенсивным свечением; затем, через время, необходимое для прихода звуковой волны, слышатся оглушительные звуки. Однако при наблюдении некоторых болидов очевидцы одновременно слышали и какие-то звуки, хотя звук от болида должен был прийти значительно позже — через сотни секунд. Такие болиды получили название электрофонных, так как попытки их объяснения были основаны на идее связи звуковых эффектов с изменением или созданием болидами электрических полей около Земли. Однако эти объяснения не содержали конкретных механизмов генерации звука.

Г. А. Аскархан (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) предложил механизм дистанционной генерации звука при пролете болида — за счет нагрева поверхности Земли световым и инфракрасным излучением болида, модулированным во времени. Модуляция свечения связана с неравномерностью абляции и пульсацией плазмы, образуемой при пролете болида. Оказалось, что имеются работы, в которых такая модуляция уже была за-

фиксирована; так, фотоденситометрический промер трека болида, снятого на фотопластинку, показал наличие сильной модуляции. Правда, не удалось дойти до частот порядка килогерц из-за предела разрешения фотозмульсии, но частоты в области 100 Гц прослеживались четко. Эксперименты по изучению свечения тел, помещенных в быстрый поток газа, также подтвердили неравномерность абляции и сопровождающего ее свечения.

Оценки, полученные Г. А. Аскарьяном, показали, что модуляция свечения может одновременно вызвать звук на Земле: свет быстро, за десятки доли миллисекунды проходит через атмосферу, поглощается поверхностью Земли, температура тонкого нагреваемого слоя пульсирует, и тепловое расширение воздуха и среды рождает звуковую волну. Интенсивность звука превосходит порог слышимости уже для электрофоновых болидов средней энергии.

Хотя окончательно неясно, раскрыта ли тайна электрофоновых болидов, однако выявлен простой механизм дистанционной генерации звука, вызываемой свечением болидов. Кстати, звуковой импульс должен возникать и при поглощении света молнии предметами, близкими к наблюдателю, причем этот звуковой импульс должен опережать гром, приходящий позже.

Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, № 21, с. 1304.

## Физика

### Уточнена гравитационная постоянная

В Национальном бюро стандартов (США) проведены точные измерения гравитационной постоянной  $G$ , согласно которым  $G = (6,6726 \pm 0,0005) \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ . (До сих пор было принято значение  $G = (6,6720 \pm 0,0041) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ .)

В эксперименте использован метод, предложенный еще

в прошлом веке: изучаются крутильные колебания пробного тела малой массы, подвешенного на нити. Частота этих колебаний  $\omega_1$  связана с моментом инерции  $I$  тела и постоянной кручения нити  $K_1$  зависимостью:  $\omega_1^2 = K_1/I$ . Если колебания происходят в присутствии притягивающих тел большой массы, то частота колебаний увеличивается. Это выглядит как увеличение жесткости нити:  $K_1 \rightarrow K_1 + K_g$  — и новая частота колебаний  $\omega_{1+g}^2 = (K_1 + K_g)/I$ . Измеряя  $\Delta\omega^2 = \omega_{1+g}^2 - \omega_1^2 = K_g/I$ , можно найти постоянную  $K_g$ , пропорциональную гравитационной константе  $G$ . В конечном итоге  $G = A \cdot \Delta\omega^2$ , где коэффициент  $A$  зависит от геометрии всего устройства и может быть вычислен теоретически.

В качестве тел большой массы использовались два вольфрамовых шара диаметром 10,16590 см и массой 10,490115 г, расположенных на расстоянии 14,059454 см друг от друга. Пробное тело было сделано в форме небольшой гантели: два вольфрамовых диска толщиной 2,5472 мм и диаметром 7,1660 мм, закрепленных на вольфрамовом стержне длиной

28,5472 мм. Его общая масса — 7 г.

Гантель подвешивалась в вакуумной трубке ( $10^{-5}$  Тор) на кварцевой нити длиной 40 см. Другой конец нити прикреплялся к демпфирующему устройству, которое представляло собой небольшой алюминиевый диск, подвешенный в сильном магнитном поле. Демпфер очень чувствителен к колебаниям, возникающим, например, из-за сейсмических возмущений; такие колебания подавлялись за несколько секунд. В то же время жесткость нити, на которой подвешен демпфер, в 100 тыс. раз больше жесткости кварцевой нити с пробным телом. В результате влияние демпфера на изучаемые крутильные колебания пренебрежимо мало.

Несколько слов об устройстве детектора. В автоколлиматоре создавался узкий пучок света, направленный на зеркальце, укрепленное на кварцевой нити. После отражения от зеркальца луч фокусировался на приемном устройстве из 1024 светочувствительных элементов. Измерение светового потока позволяло с высокой точностью определять углы поворота пробного тела. Вся система помещалась в акустически и термически изолированный куб, установленный на железобетонной плите массой около 5 т.

Типичная серия измерений частоты колебаний в присутствии шаров и без них длилась 50—75 ч, измерения в каждом из положений длились от 6 до 12 ч. Период колебаний груза составлял около 6 мин, при этом влияние больших масс достигало нескольких процентов.

Основная ошибка эксперимента была связана с неопределенностью размеров пробного тела, с неопределенностью момента инерции зеркальца и с ошибкой измерений частоты колебаний. Сейчас изготавливается новое пробное тело для более точных измерений. В частности, уменьшена масса зеркальца. Тогда основной вклад в ошибку эксперимента даст наиболее трудно устранимая ошибка в измерениях частоты колебаний.

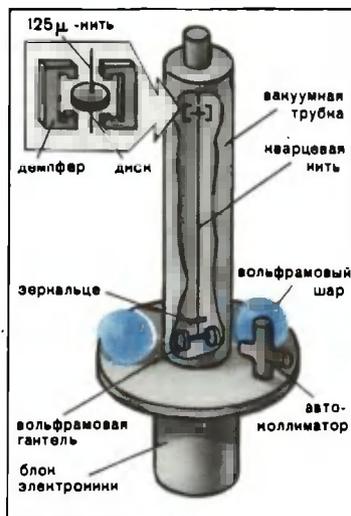


Схема эксперимента по измерению гравитационной постоянной.

Physical Review Letters, 1982, v. 48, № 3, p. 121 (США).

## Физика

## Лазерное разделение изотопов в атомарных парах

Из трех схем лазерного разделения изотопов урана для разработки промышленной технологии выбран метод разделения в атомарных парах (РАП), предложенный исследователями Национальной лаборатории им. Лоуренса (Ливермор, США). Отвергнуты разделение изотопов в лазерной плазме и в молекулярных парах.

Идея метода РАП заключается в селективной фотоионизации атомов  $^{235}\text{U}$  в парах над расплавом смеси изотопов. Источником возбуждающего излучения служит лазер на красителе. После ионизации изотопы урана можно разделять электромагнитным способом. Перспективными источниками возбуждающего излучения считаются также лазеры на парах меди и на хлориде ксенона.

Опытный завод по обогащению урана методом РАП должен вступить в строй в середине 90-х годов. Он будет строиться рядом с существующим заводом по обогащению урана методом газовой диффузии в Ок Ридже. Помимо работ по технологии РАП, в Ливерморской лаборатории будут проводиться исследования по проблеме разделения изотопов плутония.

Затраты на исследования по программе РАП составили в 1982 г. 35 млн долл. Такая же сумма планируется и на 1983 г. На две другие программы в этом году было выделено соответственно 18 и 24 млн долл.; при этом в 1982 г. будет последним годом работ по проблеме разделения в молекулярных парах (эти исследования ведутся в Лос-Аламосской лаборатории). Однако считается, что плазменная методика по-прежнему заслуживает внимания и, по-видимому, будет финансироваться и в дальнейшем.

Решающим для выбора метода РАП оказалось состояние работ по созданию мощных лазеров, работающих в необходимом диапазоне длин волн.

Так, для метода разделения изотопов в молекулярных парах, в котором предполагалось использовать фотодиссоциацию  $\text{UF}_6$ , необходим мощный лазер, излучающий на длине волны 16 мкм. Однако его создание еще далеко от завершения.

Laser report, 1982, v. 18, № 8, p. 1 (США).

## Химия

## Пространственная «сшивка» полимеров при замораживании

Считалось, что при низких температурах эффективность процесса гелеобразования значительно снижается. Однако, как установили С. В. Рогожин с соавторами (Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова АН СССР), при замораживании водных суспензий миофибриллярных белков (т. е. белковых нитей мышечных волокон) возникают гелеобразные пространственно-сшитые полимерные структуры. Такая полимерная сетка образуется за счет двойных сульфидных связей между отдельными цепями белковых макромолекул<sup>1</sup>.

Было интересно выяснить влияние замораживания на образование трехмерных полимерных сеток для других классов биополимеров и синтетических соединений. Как показали исследования тех же авторов, гелеобразование при низкой температуре способствует возникновению пространственно-сшитой полимерной структуры независимо от характера реакционной группы полимера и природы «сшивающего» реагента. Само явление, названное авторами «криоструктурированием», носит, по-видимому, достаточно общий характер.

Так, например, после замораживания при  $-8^\circ\text{C}$  2%-но-

го водного раствора полиакриламида с привитыми молекулами цистеина и последующего оттаивания образуется нерастворимый в воде гель, сохраняющий форму сосуда, в котором проводилось замораживание.

По мнению авторов работы, метод «криоструктурирования» позволит получать новые полимерные материалы и различные изделия на их основе.

Доклады АН СССР, 1982, т. 263, № 1, с. 115—118.

## Молекулярная биология

## Молекулярные основы лечения талассемии

Талассемия — группа наследственных заболеваний, при которых нарушен синтез гемоглобина — гемодержащего белка, построенного из 4 субъединиц двух типов ( $\alpha_2\beta_2$ )<sup>1</sup>. При  $\beta$ -талассемии нарушается синтез  $\beta$ -полипептидных цепей гемоглобина, а при  $\alpha$ -талассемии —  $\alpha$ -цепей. В свою очередь,  $\beta$ -талассемия подразделяется на  $\beta^0$ , при которой в эритроидных клетках  $\beta$ -цепей гемоглобина не образуется совсем.  $\beta^+$ , когда небольшое количество нормального гемоглобина все же синтезируется.

Исследования, проведенные на молекулярном уровне, показали, что причина заболевания талассемией — мутации в структурных генах гемоглобина, которые могут быть представлены в виде делеций (выпадения одного или нескольких оснований ДНК), замен нуклеотидов или появления бессмысленных (нонсенс) кодонов, вместо смысловых.

Молекулярные механизмы этого заболевания изучались в бесклеточной системе белкового синтеза. При добавлении в такую систему мутантной тРНК из дрожжей, содержащей антикодон, который способен распознавать нонсенс-кодон УАГ, происходит образование нормальной цепи глобина. Таким образом, появилась принципиаль-

<sup>1</sup> Nahrung, 1981, В. 25, № 4, S. 391.

<sup>1</sup> Природа, 1982, № 4, с. 111.

ный подход к лечению некоторых форм талассемии, поскольку такая мутантная тРНК способна в эритроцитах распознавать нонсенс-кодон и предотвращать остановку синтеза  $\beta$ -гемоглобина.

Г. Темпл с сотрудниками (Калифорнийский университет, США и Университет Эдмонтона, Канада) для получения тРНК, способной «осмыслить» кодон АУГ, использовали ген лизиновой тРНК человека. В результате мутагенеза *in vitro* получили ген, кодирующий тРНК с антикодоном ЦУА, способный взаимодействовать с нонсенс-кодом УАГ и переносить к нему лизиновый остаток. Выбор именно этой тРНК объясняется тем, что в сочетании с мРНК, выделенной от больных  $\beta^0$ -талассемией и несущей замену ААГ-кодона (лизин) на УАГ-кодон (нонсенс), такая тРНК могла на место УАГ-кодона подставлять лизин, т. е. именно ту аминокислоту, которая и присутствует в этом положении в нормальном белке.

Действие такой модифицированной лизиновой тРНК в присутствии глобиновой мРНК, выделенной от больных  $\beta^0$ -талассемией, проверяли *in vivo*: в ооцитах шпорцевой лягушки. В присутствии модифицированной лизиновой тРНК, несмотря на наличие нонсенс-кодона в 17-м положении мРНК, синтезировался нормальный  $\beta$ -гемоглобин.

Теперь исследователи пытаются использовать «генотерапию» для лечения заболевания непосредственно на пациентах. Здесь, однако, пока существуют экспериментальные трудности.

Journal of Biological Chemistry, 1981, v. 256, № 19, p. 9782—9784 (США); Nature, 1982, v. 296, p. 537—340 (Великобритания).

## Медицина

### Вакцина против гепатита В

В ноябре 1981 г. Управление продовольствием и медикаментами США разреши-

ло использовать в медицинской практике вакцину против гепатита В<sup>1</sup>. В США ежегодно регистрируется от 80 до 100 тыс. случаев этой болезни. Не менее 10% больных становятся хроническими носителями вируса гепатита В; в их крови, помимо этого вируса, содержится высокая концентрация фрагмента его поверхности — так называемого антигена НВ<sub>2</sub>А<sub>g</sub>. Таких носителей только в США имеется около 800 тыс. и более 200 млн — во всем мире.

Вакцина против гепатита В производится в Вест-Пойнтском институте терапевтических исследований им. Мерка по методу, предложенному М. Хиллманом. Ее готовят из антигена НВ<sub>2</sub>А<sub>g</sub>, получаемого из крови людей — носителей этой болезни. Весь процесс выделения, очистки и проверки на безвредность (отсутствие живого вируса) длится около 65 недель. В состав антигена НВ<sub>2</sub>А<sub>g</sub> входит белок, вызывающий при его введении иммунный ответ организма.

Недавно Дж. Руттер (Калифорнийский университет, Сан-Франциско, США) с помощью методов геной инженерии добился выработки поверхностного белка вируса гепатита В у дрожжей. Дрожжевые клетки вырабатывают не только белковый компонент НВ<sub>2</sub>А<sub>g</sub>, но и входящие в его состав сахар и молекулы жироподобного вещества. Попытки других исследователей получить этот антиген с помощью кишечной палочки (*E. coli*) оказались менее успешными, так как не удалось добиться присоединения к белковой части антигена молекулы сахара и поэтому полученный продукт был менее иммуногенным, чем выделенный из дрожжей.

Намечается сделать прививки новой вакцины около 10 млн американцев; в результате медицинская служба США надеется снизить заболеваемость гепатитом В в стране в 2 раза. Nature, 1981, v. 290, p. 51 (Великобритания); Science, 1981, v. 214, p. 1113 (США).

<sup>1</sup> Подробнее об этой болезни см. — Природа, 1981, № 7, с. 111.

## Медицина

### Лечение рассеянного склероза интерфероном

Рассеянный склероз — тяжелое хроническое заболевание нервной системы, при котором в головном, спинном мозге и в периферических нервах развиваются множественные очаги поражения. Имеются данные, что рассеянный склероз, по крайней мере частично, вызывается вирусной инфекцией. До сих пор не существует эффективных способов лечения этой болезни.

Л. Джакобс с сотрудниками (отделение нейробиологии Нью-Йоркского университета, США) использовали для лечения рассеянного склероза интерферон. Из 20 больных (15 женщин и 5 мужчин) в возрасте от 15 до 40 лет составили две группы: основную (из 7 женщин и 3 мужчин) и контрольную (из 8 женщин и 2 мужчин). Больные основной группы получали фибробластный интерферон, который им вводили в спинномозговой канал. Контрольной группе вместо интерферона вводили физиологический раствор. Лечение продолжалось 6 месяцев, причем в первый месяц интерферон активностью  $10^7$  единиц на 1 мг белке вводили два раза в неделю, а в следующие 5 месяцев — раз в месяц по  $10^6$  ед./мг. Результат лечения оценивался по снижению числа обострений и по изменению самочувствия больных.

У больных, получавших интерферон, обострения наступали значительно реже, чем в контрольной группе. Так, в основной группе улучшение состояния здоровья наступило у 5 больных, у 4 осталось без изменений и у одного ухудшилось. В контрольной группе у 5 больных наблюдалось ухудшение самочувствия, у 4 оно осталось без изменений и у одного улучшилось. Лечение оказывалось тем эффективнее, чем меньшее число обострений отмечалось у больных до его начала. В силу этого авторы считают, что использование интерферона при рассеянном склерозе может дать положительный эффект, но начинать его

применять следует как можно раньше.

Полученные данные подкрепляют мнение об участии в развитии рассеянного склероза вирусной инфекции.

Science, 1981, v. 214, № 4526, p. 1026—1028 (США).

#### Биохимия

### Повышение питательной ценности белков

Одна из самых острых проблем современности — проблема полноценного питания. Особенно ощущается дефицит белковых продуктов: ведь для полноценного питания необходимо не просто получать достаточное количество белков, но и следить, чтобы они были сбалансированы по аминокислотному составу и, в частности, содержали незаменимые аминокислоты.

Известно, например, что в белках сои содержится недостаточное количество метионина, а в белке из пшеницы (глютен) мало лизина. Чтобы улучшить аминокислотный состав этих белков и тем самым повысить их питательную ценность, К. Икура, М. Йошикава, Р. Сасаки и Х. Чибэ (Университет г. Киото, Япония) предложили модифицировать их с помощью фермента транскляминазы. Этот фермент катализирует зависимость от ионов кальция перенос аминокислот на первичные аминогруппы белков с образованием прочных ковалентных связей. Так, при использовании казеина коровьего молока или белков сои в качестве акцептора, фермент транскляминаза способствует переносу метионинового остатка из этилового эфира (L-метионина) на эти белки. В результате содержание метионина в них существенно повышается. Более всего (в 3,5 раза) удалось повысить содержание метионина в белке сои с коэффициентом седиментации 11S. Еще эффективнее оказался перенос другой незаменимой аминокислоты — лизина — на белок глютен из пшеницы. Содержание лизина в нем после инкубации с транскляминазой и L-лизином повышалось в 5,1 раза. Далее

японские исследователи убедились, что включенные в состав белка метионин и лизин легко усваиваются в желудочно-кишечном тракте. В такой форме эти аминокислоты могут служить, например, для питания цыплят и крыс.

Итак, принципиальный путь улучшения питательных свойств белка найден. Остается добиться, чтобы этот путь стал рентабельным.

Agricultural Biological Chemistry, 1981, v. 45, № 11, p. 2587—2592 (США).

#### Биохимия

### Атромбогенные сосуды

Одним из осложнений, возникающих при вживлении искусственных сосудов, сердечных клапанов, желудочков сердца и пр., является образование на их стенках тромбов. Поэтому создание так называемых атромбогенных материалов остается актуальной медицинской проблемой.

Сотрудники Института цитологии и генетики СО АН СССР и Специального конструкторско-технологического бюро биологически активных веществ Главмикробиопроба (Новосибирск) использовали для этих целей протеолитический фермент трипсин, способный растворять тромбы, оседающие на поверхности полимерных сосудов. Трипсин присоединял к поверхности фторолоновых и лавсановых сосудистых протезов методом межмолекулярной сшивки с помощью глутарового альдегида. Активность трипсина составила 8—30 ед./мг. Диаметр вживленных протезов был равен 7—15 мм, а их длина — 4—5 см. Опыт проводили на собаках, которым заменяли брюшную артерию и заднюю полую вену атромбогенными протезами. Наблюдение вели в течение 3—6 мес.

Как показали эксперименты, на стенках протезов с трипсином тромбоза не наблюдалось, в то время как он был зафиксирован на стенках искусственных сосудов без трипсина. Спустя 3—6 мес. активность фермента на стенках про-

тезов составляла до 30—100% исходной, причем его присутствие не влияло на свертываемость крови.

Хранение атромбогенных сосудов в 0,1-мольном хлористом натрии при 4°С в течение 3 мес. не снижало протеолитической активности фермента.

Вопросы медицинской химии, 1982, т. XXVIII, с. 113.

#### Физиология

### Алкоголь и дыхание во сне

А. Блок (медицинский факультет Университета штата Флорида) показал, что алкоголь нарушает дыхание во сне.

Были проведены опыты с 20 здоровыми мужчинами. После их адаптации к условиям лаборатории у них в течение двух ночей регистрировали физиологические признаки сна: электрическую активность коры головного мозга, глаз и подбородочных мышц, а также дыхание и концентрацию кислорода в крови. В первую ночь половина испытуемых получила перед сном водку с апельсиновым соком из расчета 1 мл на 1 фунт веса тела, а другая половина испытуемых получила чистый апельсиновый сок. Во вторую ночь — наоборот. Установлено 110 случаев апноэ (задержки дыхания на 10 с и более) после приема водки и только 20 таких случаев — после приема сока. Прочие нарушения дыхания отмечались почти в два раза чаще также после приема водки.

Теперь изучается влияние низких доз алкоголя на больных астмой. Блок предполагает, что влияние алкоголя на дыхание может в существенной степени определять уровень смертности населения в целом. Ведь с одними и теми же факторами (принадлежность к мужскому полу, избыточный вес, пожилой возраст, употребление алкоголя и снотворных) связаны и сокращение продолжительности жизни, и апноэ во сне. Известно, кроме того, что пик смертности у людей от всех причин приходится на 6 часов утра,

когда человек находится в стадии быстрого, или парадоксального, сна и когда апноэ наиболее выражено:

Высокая смертность алкоголиков никогда не имела удовлетворительного объяснения: ссылались и на автомобильные катастрофы и на болезни печени и прочие причины. По мнению Блока, установленная им причина — весьма существенна.

Science, 1981, v. 4521, № 214, p. 644 (США).

#### Физиология

### Меланоцитстимулирующий гормон и зрительное восприятие

Психофизиологи Э. Флорид и М. Кинг (Ньюкаслский университет, Австралия) показали, что меланоцитстимулирующий гормон, вырабатываемый гипофизом, улучшает способность человека к зрительному распознаванию. До недавнего времени было известно, что этот гормон лишь регулирует синтез и распределение пигмента в коже. Однако в ряде работ было обнаружено, что его введение крысам повышает их способность вырабатывать сложные условные рефлексы на зрительные стимулы.

Флорид и Кинг проводили эксперименты с восьмилетними детьми, принадлежащими к белой расе, но имевшими светлую и темную кожу (цвет кожи определялся по соотношению отраженного и поглощенного света). Однако в связи с тем, что на оттенок кожи влияет не только указанный гормон, но и не связанное с его действием количество пигмента в коже, обусловленное генетически, экспериментаторы сравнивали детей еще и по цвету радужной оболочки глаз — ее окраска зависит только от генотипа.

В опытах дети должны были различать неясно предьявля-

емые им буквы Е и F. Оказалось, что значительно лучше других это задание выполняли дети, у которых светлые (серые, голубые, зеленые) глаза сочетались с относительно смуглой кожей. Поскольку светлые глаза свидетельствуют о том, что врожденное количество пигмента у этих детей невелико, сравнительно темный оттенок кожи может говорить только о высокой интенсивности выработки гормона в процессе развития. Следовательно, делают вывод авторы, более высокая способность к распознаванию сложных зрительных стимулов связана с действием гормона.

Physiology and Behavior, 1981, v. 27, p. 255—259 (США).

#### Физиология

### Возможный механизм болевой чувствительности

Во многих случаях установлено, что болезни, при которых в пораженных тканях снижается концентрация ионов водорода, влияющая на кислотность среды (рН), сопровождаются сильными болями (ревматоидный артрит, ишемия мышц и др.). Как показали недавно О. А. Кришталь и В. И. Пидопличко (Институт физиологии им. А. А. Богомольца АН УССР, Киев), в мембране некоторых нервных окончаний имеются специальные рецепторы, реагирующие на слабые изменения рН и при ее снижении создающие болевую чувствительность.

Были исследованы изолированные нейроны, выделенные у крыс из ганглия тройничного нерва — одного из главных носителей болевой чувствительности. Клетки помещали в соленую среду, по составу близкую к плазме крови. Изменение в ней концентрации ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  регистрировали автоматически с помощью ЭВМ. Уже при небольшом подкислении среды (рН 6,9 вместо 7,4 в норме) и повышении содержания в ней ионов водорода наблюдалось резкое увеличение проницаемости клеточной мембраны для ионов  $\text{Na}^+$  — возникал натрие-

вый входящий ток. Это приводило к снижению разности потенциалов по обе стороны поверхности мембраны, деполаризации клетки и возникновению нервного импульса.

Оказалось, что примерно половина нервных клеток ганглия снабжена рецептором чувствительности к ионам водорода. Поскольку известно, что афферентные (восходящие) импульсы, которые вызывают ощущение боли, передаются главным образом по медленнопроводящим и, следовательно, тонким волокнам чувствительных нервных клеток, исследователи измерили диаметры 1278 нейронов ганглия. Действительно, подавляющее большинство рН-чувствительных клеток малы по размеру. Их средний диаметр составляет  $25 \pm 6$  мкм, тогда как у нечувствительных —  $33 \pm 6$  мкм.

Таким образом, есть основания полагать, что механизм, найденный в мембране нейронов ганглия тройничного нерва, обеспечивает болевую чувствительность. Очевидно, чувствительные окончания части нейронов могут служить датчиками рН в различных частях тела и играть важную роль в регуляции дыхания, работы желудочно-кишечного тракта, почек и других систем организма.

Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 3, с. 763—765.

#### Физиология

### Влияние шума на двигательные центры

По клиническим наблюдениям, у людей, подвергшихся сильному шумовому воздействию, отмечаются изменения мышечного тонуса и некоторых рефлекторных реакций (угнетение глоточного, небного и брюшного рефлексов). Подмечено, что и у животных после акустического стресса появляется скованность движений, судороги и другие мышечно-рефлекторные нарушения. Таким образом, длительное шумовое воздей-

<sup>1</sup> Подробнее см. Латаш Л. П. Функция сна: факты и гипотезы. — Природа, 1977, № 8.

стве приводит к структурным нарушениям нервных клеток не только в слуховой коре головного мозга (хотя здесь они более выражены), но и в его сенсомоторной зоне. Однако в какой мере и как именно шум влияет на структуру неспецифических (неслуховых) образований центральной нервной системы, в частности на двигательные центры головного мозга, оставалось неясным.

Н. И. Артюхина и И. П. Левшина (Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР), изучая под электронным микроскопом мозг крыс, подвергавшихся длительному воздействию шума, обнаружили в нейронах сенсомоторной зоны структурные нарушения, аналогичные нарушениям в слуховой коре при акустическом стрессе. В отечных участках цитоплазмы происходила дезинтеграция и разрушение канальцев гранулярной цитоплазматической сети и полисом, обычно формирующихся в этих клетках характерные упорядоченные включения — места активного синтеза нейросекреторных белков. Эти изменения свидетельствуют о функциональном перенапряжении нервных клеток.

Другой выраженной формой отклонения структуры нейронов от нормы является увеличение количества лизосом и появление внутри них крупных гранул липофуцина. Известно, что накопление этого пигмента в нервных клетках происходит при патологических изменениях в мозге и при старении организма. Этот фактор, отражая, очевидно, процесс преждевременного старения, должен привлечь внимание не только врачей-гигиенистов, но и геронтологов.

Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 1982, т. 93, № 1, с. 98—100.

#### Микробиология

### Магнитные микробы

Известно, что многие животные способны синтезировать или накапливать в своем орга-

низме магнетит ( $Fe_3O_4$ ). Это ферромагнитное вещество было обнаружено, например, у голубей и дельфинов<sup>1</sup>, которые «чувствуют» магнитное поле Земли. Оно было найдено также у пчел. Микробиолог Р. Блейкмор (Университет в Нью-Хампшире, США) в отложениях морского дна обнаружил бактерии, перемещение которых, казалось, зависело от магнитного поля Земли. Он выделил эти бактерии и описал их морфологические свойства. Бактерии оказались анаэробами или слабыми аэробами, т. е. организмами, для которых высокое содержание кислорода в среде токсично.

В последующие годы было обнаружено еще несколько видов магнитотактильных (т. е. чувствующих магнитное поле) бактерий; все они, отличаясь друг от друга рядом признаков, обладали одной общей особенностью: их организм содержал одну или несколько частиц — магнитосом — кубической формы, почти полностью состоящих из чистого магнетита. Длина ребра каждой из частиц составляет около 50 нм. Магнитосомы чаще всего расположены в одну линию, параллельно оси движения микроорганизмов, благодаря чему бактерии ориентированы параллельно линиям местного магнитного поля.

В 1981 г. Р. Френкель (Национальная лаборатория по исследованию магнетизма, США) установил, что эти бактерии двигаются преимущественно вдоль силовых линий магнитного поля Земли. В Северном полушарии их движение большей частью направлено к северу, а в Южном — к югу. Силовые линии магнитного поля Земли помогают этим микроорганизмам мигрировать в направлении морского дна, что полезно для их жизнедеятельности, так как содержание кислорода у поверхности воды для них слишком высоко, а с глубиной оно постепенно уменьшается.

Биологическое значение присутствия магнетита у различных живых существ еще да-

леко не ясно. Так, Дж. Киршвинг (Принстон, США) обнаружил это вещество в надпочечных железах людей. Возможно, этим объясняется повышенная чувствительность некоторых людей к влиянию геомагнитного поля. Ответ на эти и на многие другие вопросы смогут дать лишь результаты дальнейших исследований.

Science, 1981, v. 212, p. 1269 (США); Journal of Experimental Biology, 1981, v. 92, p. 333 (Великобритания).

#### Биология

### Естественный отбор и раковина моллюска

Гастроподы, или брюхоногие моллюски, относятся к древнейшим из населяющих ныне Землю животным. Остатки их предков находят еще в кембрийских отложениях. То что гастроподы сумели приспособиться к условиям, менявшимся на протяжении полумиллиарда лет, возможно, связано и с их способностью «чинить» свою раковину. Роль этого фактора в естественном отборе исследовали американские палеонтологи Дж. Вермейдж, Э. Ципсер (Университет штата Мэриленд) и Д. Шиндел (Йельский университет).

Они изучали остатки множества брюхоногих моллюсков, населявших илистое дно теплых мелководных морских бассейнов в период с 325 млн лет назад и до настоящего времени, и при этом установили неизвестный до сих пор факт, что в эпоху между поздним триасом и поздним мелом (200—70 млн лет назад) число встречаемых «починенных» раковин резко возрастает.

Естественно, что если бы моллюск не умел «чинить» раковину, на ней не оставалось бы следов заживления, обнаруженных исследователями. Рост числа «починенных» раковин говорит о том, что естественный отбор быстро (по геологическим масштабам времени) укреплял способность гастропод

<sup>1</sup> См.: Ферромагнетик в голове тихоокеанского дельфина. — Природа, 1982, № 8, с. 113.

переносить даже серьезную поломку своей защитной оболочки и оставшийся в живых моллюск передавал потомству этот эволюционно ценный признак.

Science, 1981, v. 214, № 4521 (США).

### Зоология

## Роль солнца и магнитного поля в ориентации птиц

В. Вильчко с сотрудниками (Франкфуртский университет, ФРГ) провели серию экспериментов с целью выявить способности голубой ориентироваться в наиболее сложной обстановке и на значительных расстояниях от дома.

Подопытные птицы на длительное время были лишены возможности видеть солнце по утрам: их выпускали в тренировочные полеты только во второй половине дня. Контрольная группа содержалась в таком же помещении, но вылеты допускались как днем, так и утром. Затем обе группы солнечным утром были доставлены на место их выпуска. Половина птиц и в подопытной, и в контрольной группах была снабжена небольшим магнитом, который, как установлено ранее, нарушает ориентацию даже опытных голубей, если день пасмурный, но не влияет на нее при солнечной погоде.

Эксперимент показал, что голуби из контрольной группы полностью сохранили способность определять направление к дому, независимо от того, прикреплен к их телу магнит или нет. Голуби подопытной группы, лишенные возможности видеть по утрам солнце, могли легко найти дорогу домой лишь в случае, если не несли магнита, а снабженные магнитом, если и возвращались, то значительно позже остальных.

Исследователи делают вывод, что голуби владеют обоими способами ориентации — и по магнитному полю, и по солнцу, но пользуются ими по выбору.

Science, 1981, v. 214, № 4518, p. 343 (США).

### Экология

## Вертикальная миграция планктона

Известно, что огромные массы микроскопических ракообразных, составляющих планктон, каждое утро уходят в глубины моря или озера, которое они населяют, и во второй половине дня вновь поднимаются к поверхности. Исследователи давно интересовались причинами такого явления, требующего от рачков больших затрат энергии и, кроме того, заставляющего их проводить значительную часть суток в холодных водах, куда почти не проникает свет и где пищи для них крайне мало. Эту проблему изучали Х.-Б. Штик и В. Ламперт (Институт лимнологии Общества им. Макса Планка, ФРГ), проводя наблюдения над двумя видами дафний (*Daphnia hyalina* и *Daphnia galeata*) в водах Боденского озера (ФРГ).

Как оказалось, эти рачки ведут себя по-разному: ночью обе вида находятся вблизи поверхности водоема; утром хиалина начинает погружаться вниз и лишь в начале вечера она вновь присоединяется к оставшейся у поверхности галате. Однако, несмотря на это, численность галатей, — находящейся, казалось бы, в лучших условиях и к тому же быстро размножающейся, — увеличивается отнюдь не интенсивнее, чем хиалины.

Объяснить такое положение удалось благодаря открытию большого числа особей сига (*Coregonus wartmanni*) и окуня (*Perca fluviatilis*), населяющих Боденское озеро. Выяснилось, что они поедают в 9 раз больше дафний вида *D. galeata*, чем *D. hyalina*. Кормятся эти рыбы в основном у поверхности и *D. galeata* составляет важную часть их пищи.

Вертикальная миграция *D. hyalina* позволяет этому виду компенсировать свое медленное размножение и малый прирост массы, неизбежный в холодных и темных водах, малыми потерями численности от хищников, которые не следуют

за ними в глубь водоема. *D. galeata* же в ответ на «давление» хищников выработала иную компенсационную приспособляемость, которую можно назвать количественной.

The Sciences, 1982, v. 22, N 2, p. 4 (США).



### Экология

## Форелевое хозяйство на сбросных водах АЭС

Вопрос о влиянии сбросных вод на биологические объекты привлекает большое внимание экологов<sup>1</sup>. Исследованием экологической ситуации в районе Кольской АЭС занимались Н. И. Буянов и другие сотрудники Полярного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича.

В 1973 г. на Кольском п-ове вошла в строй первая очередь Кольской АЭС, которая размещена в южной части оз. Имандра. Губа Молочная служит водоемом-охладителем, в который поступает подогретая вода АЭС (40 м<sup>3</sup>/с). На образовавшемся участке площадью 1—2 км<sup>2</sup>, не замерзающем даже в самые сильные морозы заполярной зимы, было создано опытное форелевое хозяйство.

В период с 1974 по 1979 г. измерялась концентрация радиоактивных стронция (<sup>90</sup>Sr) и цезия (<sup>137</sup>Cs) в выращиваемой радужной форели, а также в воде и грунте водоема. Для сравнения аналогичные измерения проводились и на рыбах, свободно обитающих как вблизи форелевого хозяйства, так и на различных расстояниях от него.

Средняя концентрация радионуклидов в воде составила: для <sup>90</sup>Sr — 0,31 ± 0,04, а для <sup>137</sup>Cs — 0,19 ± 0,02 пКи/л, что соответствует средним значениям концентрации радионуклидов глобального происхождения в других водоемах Коль-

<sup>1</sup> О негативном влиянии сбросных вод Курской ТЭС на зоопланктон см. Природа, 1981, № 3, с. 114.

ского п-ова. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в грунтах (230—260 пКи/кг) также близка к его содержанию в грунтах других водоемов Кольского п-ова ( $^{90}\text{Sr}$  в грунтах не определялся).

В тканях у рыб  $^{90}\text{Sr}$  распределяется крайне неравномерно: при средней концентрации 70 пКи/кг в мышцах содержится 20, костях — 720, голове — 400, коже и чешуе — 180, плавниках — 900, желудочно-кишечном тракте — 18 пКи/кг сырого веса. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  более равномерно, а средняя его концентрация — 63 пКи/кг сырого веса.

Исследования показали, что концентрация долгоживущих радионуклидов в рыбах, выращиваемых на базе теплых вод Кольской АЭС, в 3—4 раза ниже уровня их концентрации в свободно обитающих рыбах данного района и в десятки раз ниже, чем в промысловых рыбах других водоемов Кольского п-ова. Объяснить это можно, во-первых, тем, что Кольская АЭС не загрязняет водоема-охладителя (как уже отмечалось, концентрация радионуклидов в воде и грунтах водоема-охладителя и других водоемов Кольского п-ова примерно одинаковы) и, во-вторых, различным кормом для рыб. Известно, что присутствие  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах из водоемов Заполярья обусловлено глобальными выпадениями из атмосферы, имевшими место в 1960—1970 гг., однако более низкое их содержание в рыбах форелевого хозяйства связано с тем, что кормом для них служат дешевые морские рыбы с очень низкой концентрацией  $^{90}\text{Sr}$  (2,2 пКи/кг) и  $^{137}\text{Cs}$  (10 пКи/кг), в то время как свободно обитающие рыбы потребляют корм с более высоким уровнем их концентрации. Промежуточные значения величин концентрации  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах, выловленных вблизи садков с форелью, объясняются тем, что эти рыбы наряду с естественным кормом потребляют и остатки корма выращиваемой форели.

Полученные результаты говорят о перспективности создания рыбозводных хозяйств на базе сбросных вод АЭС.

Экология, 1981, № 3, с. 66—70.

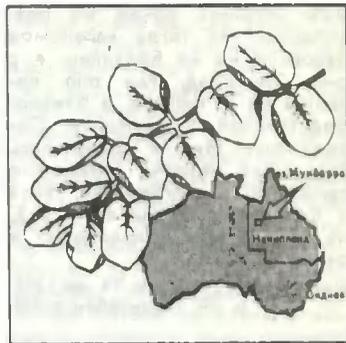


## Борьба с сальвинией

В 1952 г. на территории Австралии впервые был обнаружен водный папоротник *Salvinia molesta*. Вскоре выяснилось, что сальвиния молеста обладает незаурядной способностью к размножению: в оптимальных условиях она может менее чем за трое суток утраивать свой вес (в сухом виде). За 25 лет это растение превратилось в главную помеху ирригации, мелиорации и судоходству, приводя к многомиллионным убыткам. Химические меры воздействия оказались и дорогостоящими и опасными для других организмов. Родина сальвинии долгое время оставалась неизвестной. Случайно завезенная в Индию, Шри Ланку, Фиджи, Папуа — Новую Гвинею, Новую Зеландию и некоторые районы Африки, она и здесь причиняет существенный ущерб, превысив убытки от водяного гиацинта<sup>1</sup>.

Недавно решительного успеха в борьбе с сальвинией добилась международная комиссия экологов, ботаников и зоологов, возглавляемая П. Руммом, Д. А. Сандсом (отдел эволюционной Управления научных исследований Австралии), К. Хартли и И. Форно (Группа биологического контроля в Паране, Бразилия). Комиссия была создана в 1978 г., когда, наконец, удалось установить, что родиной сальвинии являются юго-восточные районы Бразилии.

Поиски естественных врагов растения в местах его первичного обитания позволили выявить трех насекомых, из которых наиболее перспективным показал себя мелкий черный слоник, или долгоносик, вида *Cyrtobagous singularis*. Взрослые особи питаются исключительно почками сальвинии; яйца они откладывают в



На оз. Мундарра в Австралии биологическим методом успешно ведется борьба с водным папоротником сальвинией.

корнях растения, а личинки поедают корневища.

Экспериментально provedьлось, не изберет ли циртобагоус, оказавшись в Австралии, какое-либо иное растение в качестве основного источника питания и не принесет ли он с собой какой-либо патогенный вирус. Получив в опытах удовлетворительные результаты, исследователи в июне 1980 г. выпустили первую партию циртобагоуса в изолированных сеточных участках оз. Мундарра (северная часть штата Квинсленд) — наиболее зараженного сальвинией бассейна Австралии. Поначалу эффект казался незначительным, но через 6 месяцев почти все растения этого вида в пределах опытного участка были поражены насекомым; сетки сняли, и началось распространение долгоносика по всему озеру. К апрелю 1981 г. его численность, считая только взрослых насекомых, превысила 100 млн. Предполагаемая биомасса сальвинии, которая, по расчетам, должна была в августе 1981 г. достигнуть 40 тыс. т, составляла менее 1 т. После этого численность циртобагоуса резко упала до 6 млн. Таким образом, сложилась сбалансированная экологическая ситуация: сальвиния и циртобагоус могут сосуществовать на оз. Мундарра, взаимно контролируя численность друг друга.

Интересно отметить, что попытки бороться с сальвинией биологическим методом, используя того же долгоносика,

<sup>1</sup> Подробнее см.: Водяной гиацинт — бедствие или польза? — Природа, 1978, № 9.

уже делались ранее, но безуспешно. Но тогда насекомое завозили не из Бразилии, а с о-ва Тринидад, где оно питается на *S. molesta*, а близкородственной *S. auriculata*. По-видимому, этим и объяснялась тогдашняя неудача (возможно также, что долгоносики, хотя и определялись как один вид, на самом деле принадлежат к разным видам).

New Scientist, 1982, v. 93, № 1294, p. 500 (Великобритания).



Охрана природы

## Операция «Сокол»

В Витебской области, Белорусской ССР, совершенно неожиданно обнаружены 4 жилых гнезда и 4 местообитания орла-бвркута, 2 жилых гнезда и 4 местообитания орлана-бвлохоста, а также гнезда и местообитания целого ряда других видов редких, исчезающих и занесенных в «Красную книгу СССР» хищных птиц (змееяд, скопе, сапсан, подорлик). И удалось это сделать путем рассылки анкет самой широкой аудитории.

Идею анкетного метода выдвинули и осуществили сотрудники кафедры зоологии Витебского педагогического института и члены секции охраны птиц Витебского областного совета Белорусского общества охраны природы. Был объявлен конкурс под названием «Сокол» с премиями. В 1976—1977 гг. было разослано 7 тыс. анкет, включавших описание отличительных признаков хищных птиц и их гнезд, сведения о их размножении и питании, а также перечень вопросов, на которые мог бы ответить корреспондент без специальной орнитологической подготовки.

Возвращено было всего 70 анкет. Такой незначительный процент возврата (1%) свидетельствует о редкости видов, небольшой численности и труднодоступности мест их обитания. Зато 56 анкет, как показала их проверка выезжавшими на место орнитологами, содержала досто-

верные и исключительно интересные сведения.

Общий итог «Сокола»: в Витебской области обнаружено 42 местообитания 7 видов редких хищных птиц; подтверждена, по оценке авторов А. М. Дорофеева и В. В. Ивановского, ценность этого дешевого метода (все затраты не превысили 1000 руб.), ранее опробованного лишь в Эстонии (1975) и Винницкой области (1975).

Орнитология, 1982, вып. 17, с. 135—136.

Геология

## Нефть в рифтовой зоне

Работы в районе впадины Гауямас (Калифорнийский залив), выполненные американскими специалистами Б. Саймонейтом (Университет штата Орегон) и П. Лонсдейлом (Скриппсовский океанографический институт), опровергли представление, будто нефть не может образоваться в рифтовых зонах.

Как известно, по дну Калифорнийского залива проходит современная ось расширения дна. Там резко повышен поток глубинного тепла (местами более  $1,2 \text{ Вт/м}^2$ ), многочисленны выходы гидротерм, особенно высока скорость накопления осадков — более  $1 \text{ м/1000 лет}$  (за сравнительно короткий промежуток времени, 2 млн — 300 тыс. лет назад, здесь накопился слой осадков в среднем толщиной около 500 м). По данным глубоководного бурения, или на дне Калифорнийского залива богаты органическим веществом, часто разложившим до битумов. В целом в заливе создается уникальная геологическая ситуация: свободное сообщение с открытым океаном обуславливает высокую биологическую продуктивность вод, близость континента обеспечивает поступление большого количества оседочного материала в рифтовую зону, а высокий тепловой поток приводит к интенсивному подогреву осадков.

Во впадине Туаямас драгмами были подняты гидротермально-измененные осадки, а с вершины одного из невысоких холмов (всего 20—30 м), образующихся вокруг выходов горячих источников благодаря отложению растворенных солей, — массивные обломки сульфидов, барита, талька, других минералов гидротермального происхождения. Многие образцы покрыты маслянистой пленкой, похожей на нефть и имеющей характерный запах дизельного топлива. По разным геохимическим признакам эта маслянистая пленка действительно близка к неочищенной нефти. Однако образовалась она при совершенно иных температурных условиях, чем нефть любых известных месторождений, имеющих промышленное значение.

В рифтовой зоне происходит извержение базальтов, имеющих температуру в сотни градусов. В результате интенсивного прогресса богатой органическими остатками осадочной толщи образуются углеводороды. Горячие глубинные воды, температура которых даже на поверхности дна достигает  $300^\circ\text{C}$ , вымывают их из осадков. Но при контакте гидротерм с холодной морской водой происходит осаждение различных минеральных солей. Отлагается на поверхности морского дна и нефтяная пленка.

Разумеется, образующаяся таким путем нефть не имеет коммерческого значения, но изучение процесса высоко-температурного образования углеводородов, по мнению авторов, приведет к лучшему пониманию условий, необходимых для их крупных скопления.

Nature, 1982, v. 295, № 5846, p. 198—202 (Великобритания).

Геофизика

## Тепловой поток Сибири

Группа ученых Сибирского отделения АН СССР (А. Д. Дучков, В. Т. Белобаяев, С. В. Лысак, Л. С. Соколова, В. Н. Девяткин, Б. В. Во-

лодько, А. Н. Левченко) проанализировала величины теплового потока, идущего из недр Земли на территории Сибири, где к 1980 г. было проведено около 700 геотермических измерений. Данные о тепловом потоке обобщены в виде схематической карты масштаба 1:7 500 000.

В геологическом отношении территория Сибири представляет сложное разновозрастное образование. В среднем тепловой поток здесь  $50 \text{ мВт/м}^2$  (т. е. несколько ниже мировой средней величины для континентов), однако пределы его изменения довольно велики.

Самой «холодной» является территория докембрийской Сибирской платформы: средний поток тепла составляет там  $38 \text{ мВт/м}^2$ . Наиболее охлажденный участок платформы — древний (архейский) Анабарский массив, где глубинный поток тепла не превышает  $25 \text{ мВт/м}^2$ . Наиболее контрастно в тепловом поле выражена западная граница Сибирской платформы: при пересечении проходящего здесь Енисейского тектонического шва тепловой поток скачкообразно возрастает более чем в два раза на расстоянии около 150 км.

Несколько выше поток тепла в пределах Алтае-Саянской складчатой зоны каледонского возраста (в среднем  $46 \text{ мВт/м}^2$ ). Западно-Сибирская плита, фундамент которой образован структурами варисцианского возраста, имеет средний поток около  $52 \text{ мВт/м}^2$ .

Верхоянско - Колымская складчатая система позднепалеозойско-мезозойского возраста характеризуется слабодифференцированным тепловым полем со средней величиной около  $66 \text{ мВт/м}^2$ . Тепловой поток повышен в пределах антиклиналей и понижен в межгорных депрессиях, что указывает на тесную его связь с тектонической активностью геоструктур.

Наиболее высок поток тепла в зоне Байкальской складчатой области, где развивается современный рифтогенез. Тепловое поле здесь резко дифференцировано, поток тепла достигает  $330 \text{ мВт/м}^2$ , однако средняя его величина ниже — она близка к  $70 \text{ мВт/м}^2$ .

Таким образом, данные, полученные в Сибири, подтверждают прямую зависимость между возрастом становления коры или возрастом ее активизации и средним потоком тепла, идущим из глубин Земли. Геология и геофизика, 1982, № 1, с. 42—51.

#### Геофизика

### Глубинная неоднородность Северной Атлантики

Т. Б. Яновская (Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова) изучала распространение поверхностных (так называемых рэлевских) волн в Северной Атлантике с периодами от 20 до 60 с. Ранее этот метод уже использовался для изучения различий в строении крупнейших тектонических объектов — материков и океанов. В предложении автором модификации он дает возможность выявить особенности регионального строения коры и мантии Земли. С увеличением периода поверхностной волны увеличивается и глубина ее проникновения; это позволило автору проследить, как изменяется структура земной коры Северной Атлантики с глубиной.

На сравнительно небольших глубинах, в первые десятки километров, отчетливо проявилась асимметрия литосферы Атлантического океана: срединный хребет разграничивает ее на восточную, однородную, зону и западную, для которой характерно нарастание скоростей рэлевских волн в сторону Северной Америки. Автор связывает это с различиями в плотности литосферы к востоку и западу от хребта, что находит подтверждение и в гравиметрических данных.

На больших глубинах эти различия исчезают, зато как крупная аномальная область проявляется сам Срединно-Атлантический хребет. Под ним в мантии протягивается зона пониженных скоростей рэлевских волн. Это подтверждает предположение о подъеме из глу-

бин Земли к рифту относительно более легкого вещества.

Крупная изолированная неоднородность в мантии с поперечными размерами в первые сотни километров выделена в районе Азорских о-вов. Как и под срединным хребтом, там с больших глубин поднимается относительно более легкое вещество, образуя в мантии характерный плюмаж, или глубинную струю, — так сейчас называют локализованные глубинные потоки вещества, которые выявлены в ряде районов Земли по геофизическим данным. Ранее аномалии в вещественном составе пород района Азорского архипелага были выделены по петрографическим данным.

Известия АН СССР, сер. Физика Земли, 1982, № 2, с. 3.

#### Океанология

### Палеоокеанология Южной Атлантики

Эволюцию океанологических условий в Атлантическом секторе Южного океана и связанного с ними оледенения Антарктиды проанализировали геологи П. Сайсальски, М. Ледбеттер и Б. Элвуд (Университет штата Джорджия, США), использовав для этого литологические колонки, полученные на крайнем востоке Фолклендского плато, в пределах так называемой Банки Юинга, и другие материалы по Южной Атлантике.

Согласно наземным геологическим данным, оледенение Антарктиды началось еще в палеогене с образования в Восточной Антарктиде высокогорных ледников, которые постепенно спускались к океану. Оледенение Западной Антарктиды, большая часть которой в неогене была покрыта мелководными морями, началось значительно позже. Судя по морским геологическим данным, быстрый рост ледников произошел там только в позднем миоцене, что было связано с окончательной изоляцией Антарктики Циркумполярным течением и с образованием холодного полярного фронта —

зоны конвергенции водных масс. Об этом свидетельствует тот факт, что карбонатные осадко-накопления на Банке Юинга сменялись кремнистым.

Рост ледников в Западной Антарктиде привел к возникновению в позднем миоцене феномена антарктических придонных водных масс: они формируются подо льдом в море Уэдделла и распространяются у дна далеко на север, включая Северную Атлантику. Образование этих водных масс принципиально изменило условия придонной циркуляции в Мировом океане, что отразилось, в частности, в интенсивном размыве донных осадков в глубоководных котловинах в позднемiocеновое время. Потепление климата, наступившее в раннем плиоцене, вновь привело к накоплению осадков.

Сравнительно мелководные условия Фолклендского плато (около 1,5 км на Банке Юинга) позволили установить режим поверхностного Циркумполярного течения, испытывавшего заметные колебания в скорости. По литологическим данным, оно сформировалось на рубеже олигоцена и миоцена, когда образовался пролив Дрейка. В это время тихоокеанские воды хлынули в Атлантику. Максимальной силы течение достигло к позднему миоцену (7,2—4,7 млн лет назад); именно на это время приходится главная фаза размыва ранее отложившихся осадков. В дальнейшем фазы ослабления и усиления течения последовательно сменяли друг друга. Последняя фаза усиления течения (1,2—1,0 млн лет назад) совпадает с периодом наиболее крупного наступления ледников в Южном полушарии (Патагонский гляциал Аргентины).

В неогене на Банке Юинга отлагались кремнистые и терригенные осадки. Полярный фронт проходил к северу от поднятия. И только 200 тыс. лет назад там вновь стали накапливаться карбонатные илы: наступило общее потепление, и полярный фронт приблизился к Антарктиде, заняв свое нынешнее географическое положение непосредственно к югу от Фолклендского плато.

*Marine Geology*, 1982, v. 46, № 1/2, p. 1—51 (США).

## Минералогия

### Самые крупные кристаллы

Хотя теоретически верхний предел для размера кристаллов отсутствует, в природе большие кристаллы встречаются редко. Первую попытку собрать воедино все имеющиеся сведения о крупнейших кристаллах естественного происхождения предпринял П. Риквуд (Университет Нового Южного Уэльса, Австралия). В составленной им сводке по таким кристаллам представлены все классы минералов — рудные, силикатные, органического происхождения, соли.

Наиболее крупные кристаллы не отличаются ни красотой, ни чистотой окраски, ни хорошо образованными гранями, а только своей величиной. Самым крупным среди известных кристаллов признан найденный на Мадагаскаре берилл: его длина 18 м, диаметр 3,5 м, объем 143 м<sup>3</sup> и масса примерно 380 т. Крупнее мог бы считаться кристалл полевого шпата: в литературе упоминается факт находки на Урале кристалла полевое шпата, в теле которого была устроена каменоломня площадью 10×10 м и неизвестной глубины. По некоторым данным, близких размеров достигают и кристаллы калиевого полевое шпата (микрелина) на одном из рудников в Колорадо (США), однако надежных доказательств этому в литературе нет.

*American mineralogist*, 1981, v. 66, № 9/10, p. 885—907 (США).

## Вулканология

### Подводный вулкан Макдональд

1 марта 1982 г. сейсмические станции на о-вах Мурее, Тубуан, Рикитеа и Рангироа (Французская Полинезия) зарегистрировали необычные мощные акустические волны в море. За ними последовал продолжительный грохот. Явле-

ние наблюдалось около 14 часов. Его причиной было мощное извержение подводного вулкана Макдональд, расположенного на дне Тихого океана к юго-западу от о-вов Гамбир (архипелаг Туамоту), в точке с координатами 29° ю. ш., 140° з. д.

Существование этого вулкана впервые обнаружено в 1967 г., в период кратковременного извержения, и тоже с помощью гидрофонной техники. С тех пор Макдональд проявлял бурную активность шесть раз: в 1977, 1979, трижды в 1980 и в 1981 гг.

В начале 1982 г. Геофизическая лаборатория Комиссарииата по атомной энергии Франции (Папэте, о-в Таити) завершила в этом районе батиметрические работы. Местонахождение вулкана установлено с большой точностью. Его вершина оказалась на глубине всего 27 м под уровнем моря. С вершины и прилегающего к ней вулканического плато с помощью драг взяты образцы геологических пород.

*Smithsonian Institution SEAN Bulletin*, 1982, v. 7, № 2, p. 2—3 (США).

## Антропология

### Когда разошлись пути обезьяны и человека?

Среди специалистов продолжается дискуссия относительно того, когда произошло окончательное отделение генеалогической ветви, ведущей к современному человеку, от ветви, принадлежащей прямым предкам нынешних человекообразных обезьян (шимпанзе, горилла, орангутан).

Важным аргументом в этом споре стало открытие Д. Пилбимом (Гарвардский университет, США) и И. Шахом (Управление геологической съемки Пакистана, Карачи) хорошо сохранившихся в отложениях эпохи позднего миоцена остатков черепа ископаемого примата *Sivapithecus indicus*, жившего примерно 8 млн лет назад. Пилбим предполагает, что эта находка может представлять последнего общего предка человекообразных обезьян и человека. Если это не так (а по-



Череп *Sivapithecus indicus* (по средине) в сравнении с черепами шимпанзе (слева) и орангутана (справа).

добной точки зрения придерживается палеонтолог П. Эндрюс из Британского музея естественной истории (в Лондоне), то остается рассматривать эту находку как остатки предка орангутана, не имеющего прямой связи с человеком.

Череп сивапитека (очевидно, по своим размерам достигавшего черепа современного шимпанзе) был найден в виде отдельных обломков при раскопках, проводившихся в 1979—1980 гг. на плато Потсар, у подножия Гималаев. Реконструкция, выполненная сотрудниками Йельского университета (США), позволила восстановить всю левую сторону лица, небо и массивную верхнюю челюсть с полным комплектом зубов, свидетельствующим о том, что особь была взрослой. В руках палеонтологов оказался, таким образом, редкий по полноте материал.

В некоторых отношениях найденный череп, как и остатки других сивапитеков, обнаруженных в тех же средне-позднемиоценовых слоях, сходен с черепом современного орангутана. Однако ряд важных черт (размеры и форма зубов, массивная челюсть) сближает сивапитека с плио-плейстоценовыми гоминидами (т. е. с древним человеком), населявшими Восточную

Африку 3—4 млн лет назад. В любом случае многие специалисты видят в этой находке весомое подтверждение того, что гоминиды и африканские человекообразные обезьяны разошлись в своей эволюции менее чем 8 млн лет назад, а возможно даже — около 5—4 млн лет назад; отделение же ветви орангутанов в Азии произошло несколько ранее, вероятно,  $10 \pm 2$  млн лет назад. Это противоречит традиционной точке зрения, согласно которой линия, ведущая к человеку, ответвилась от общего с обезьянами генеалогического древа не менее 20 млн лет назад, а первым представителем человеческого семейства был рамапитек.

Если сивапитек, — долгое время считавшийся более близким к дриопитековым обезьянам (предполагаемым предкам нынешних человекообразных), чем к рамапитеку, а потому и помещавшийся в стороне от прямого родства с человеком, — в действительности окажется последним общим предком всех гоминоидов, то возникнет вопрос, куда в общей эволюционной картине поместить рамапитека<sup>1</sup>. Однако и без того последние находки в Азии и Африке заставляют многих палеонтологов серьезно усомниться в раннем отделении линии человека от общего древа и, тем самым, в «гоминидности» рамапитека. Одновременно подвергается

критике жесткая классификация гоминоидов на гоминид и понгид, поскольку становится все более очевидным разнообразие форм, существовавших в эту эпоху.

*Nature*, 1982, v. 295, № 5846, p. 185—186, 232—236 (Великобритания).

Археология

Самые древние каменные орудия

Археологи французенка Э. Рош и новозеландец Дж. Харрис в 1976—1977 гг. нашли в древнейших отложениях Хадара (Эфиопия) каменные орудия. Возраст этих отложений 2,5—2,7 млн лет. До сих пор древнейшими каменными орудиями с надежно определенным возрастом считались находки из нижних слоев долины Омо в Южной Эфиопии. Их возраст 2,1 млн лет.

Место находки в Хадаре, по-видимому, представляло собой в древнее время отшель реки в нескольких километрах от впадения ее в большое озеро. Осадочные отложения, откуда извлечены находки, покрывали слой вулканического туфа, возраст которого определен достаточно достоверно и составляет  $2,8 \pm 0,2$  млн лет. Какой период времени разделяет отложения туфа и осадков — точно неизвестно.

Каменные орудия из Хадара относятся к тому же типу, что и найденные в Кооби-Фора (Кения) и в Олдувайском ущелье (Танзания). Если датировка хадарских находок верна, то эти каменные орудия по меньшей мере на полмиллиона лет древнее ранее найденных каменных орудий так называемого *Homo habilis* (человека умелого).

Но тут сразу встает вопрос: кто изготовил орудия, обнаруженные в Хадаре, — человек или австралопитек, которых отделяют друг от друга 2—3 млн лет? Отсутствие костных остатков в данном случае заставляет оставить этот вопрос открытым.

<sup>1</sup> См. также: Рамапитек — древесный или наземный? — Природа, 1982, № 9, с. 117.

## Старые и новые задачи географии

Ю. Д. Дмитриевский,  
доктор географических наук  
Ленинград



Ю. Г. Саушкин. ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ НАУКА В ПРОШЛОМ, НАСТОЯЩЕМ, БУДУЩЕМ. М.: Просвещение, 1980, 269 с.

География в традиционном понимании — очень древняя наука, и долгое время вопрос «где что находится?» был для нее главным: люди открывали для себя Землю, наносили на карту реки и моря, горы и низменности, города и села. Шел процесс визуального познания нашей планеты. Нечего грех таить: у многих людей нынешнего старшего поколения крепко засело представление о географии как науке описательной, в значительной мере номенклатурной. А между тем география давно перешагнула грань описательности и стала наукой аналитической. Ее задачи — обнаружить связи между географическими явлениями в природе и обществе, зафиксировать тенденции развития физико- и эконо-

номико-географических процессов, объяснить их. Передовые советские географы не ограничивались анализом — они стремились довести его до практических выводов и рекомендаций, до прогноза. Это направление получило сейчас большое распространение — и практическая направленность советской географии позволяет называть ее географией конструктивной.

Во все времена география анализировала взаимосвязи в триаде «природа — человек — хозяйство», которую ныне можно назвать экономико-экологической. И не случайно один философ недавно написал: «Какая же наука сегодня может реально претендовать на роль интегрального интерпретатора вопросов, составляющих существо и специфику отношения «человек — биосфера»? Думается, география».<sup>1</sup>

Поэтому очень важно, что такой известный экономико-географ, как Юлиан Глебович Саушкин (1911—1982), успел написать эту книгу, в которой взял на себя задачу рассказать широкому кругу читателей о значении географии в прошлом, настоящем и будущем. Рецензируемой книге, естественно, предшествовали специальные публикации на эту тему; только за последние годы Ю. Г. Саушкин выпустил три капитальных труда: «Экономическая география: история, теория, методы, практика» (М., 1973), «История и методология географической науки» (М., 1976), «Economic Geography. Theory and Methods» (М., 1980) (вторая из перечисленных книг была отмечена Золотой медалью Географического общества СССР и премией им. П. П. Семенова).

Говоря о прошлом, Ю. Г. Саушкин рассматривает

вклад наиболее крупных ученых в теорию и практику географии, отмечая роль и иностранных школ (А. Гумбольдта, К. Риттера и др.) и особенно обстоятельно отечественных (П. П. Семенова-Тян-Шанского, Д. Н. Анучина, В. В. Докучаева и др.). Особо отмечается роль ученых-эволюционистов в развитии географических идей.

Повествуя о географии настоящего, Ю. Г. Саушкин уделяет много места вопросам становления советской географии, выделяя роль таких ученых, как Л. С. Берг, Ю. М. Шокальский, Н. И. Вавилов, В. И. Вернадский, Б. Б. Польнов, В. Н. Сукчев, Н. Н. Баранский, Н. Н. Колосовский, И. А. Витвер и других. При этом затрагивается очень важный вопрос о дифференциации и интеграции географической науки.

Как известно, на заре развития географии и еще долго потом, в течение веков, эта наука была как бы единой: общими были географические описания континентов, стран, районов. О природе, людях и хозяйстве рассказывалось одновременно — и читатель получал, как сказали бы ныне, синтетическое представление о территории. Но постепенно начался и стал быстро развиваться процесс дифференциации географии. Выделилась география физическая, изучающая территориальные природные комплексы, и география экономическая, анализирующая территориальные хозяйственные сочетания и комплексы, просторственную дифференциацию экономики. На этом процесс дробления географии не остановился; из недр географии физической выделились науки: о рельефе — геоморфология, климате — климатология, внутренних водах — гидрология, природе Мирового океана — океанология, закономерностях размещения почв — география почв, закономерностях размещения растительного и живот-

<sup>1</sup> Лось В. А. Человек и природа. (Социально-философские аспекты экологических проблем.) М., 1978, с. 160—161.

ного мира — биогеография. В экономической географии особую роль стала играть география населения и ее особая ветвь — география городов; обособились география промышленности, сельского хозяйства, транспорта.

Дифференциация географии, конечно, во многом оказалась полезной: углубились знания о закономерностях размещения отдельных элементов природы и хозяйства. Однако довольно скоро выявилась и отрицательная сторона такой тенденции: за деревьями стал исчезать лес, за отдельными компонентами природы перестала быть видна вся природа, за отдельными отраслями хозяйства — экономика в целом. Не пошла на пользу делу и та стена, которая кое-где воздвигалась между географией физической и экономической: некоторые ученые как-то «забыли», что все то, что вовлечено человеком в хозяйство, в конечном счете происходит из природы, что экономика — это опосредованный общественными отношениями процесс освоения природы, природных ресурсов, которые (прямо или через какие-то стадии преобразования) вступают в производственный процесс, в хозяйственный оборот. Стали «забывать» и то, что сам человек — порождение природы, ее элемент.

Все эти аксиомы всплыли на поверхность и напомнили о себе энергично в последние годы, когда человечество остро почувствовало актуальность проблем взаимоотношения общества и среды. И представителям разных специальностей, географам в том числе, стало очевидно, что хотя век ученых-энциклопедистов миновал, потребность в науках, способных охватить широкую область исследований, вплоть до изучения такой необъятной системы, как «человек — природа», не только не ушла в прошлое, но растет день ото дня. И наука ответила на эту потребность общества: процессы дифференциации в ней стали энергично дополняться процессами интеграционными. Вопросы интеграции географических наук особенно близки автору книги. Вместе со своим учителем

Н. Н. Баранским он долгие годы вел нелегкую борьбу за единство географии (конечно, прекрасно понимая принципиальную разницу явлений, которые изучает социально-экономическая и физическая географии, и закономерностей, которые эти науки анализируют).

Представляя сегодняшнюю географическую науку, Ю. Г. Саушкин знакомит читателя с современными методами географических исследований (в том числе с используемым в них математическим аппаратом). Кратко, но содержательно освещает роль географии в народном хозяйстве (в частности, пишет о формировании у нас в стране территориально-производственных комплексов и о том, что основы их теории и практики в свое время заложил Н. Н. Колосовский), науке, образовании, культуре.

Конструктивной науке органически присуща возможность прогнозирования. «Географический прогноз, — пишет Ю. Г. Саушкин, — есть в первую очередь прогноз процессов пространственной трансформации и пространственных перемещений объектов исследований, изменений их пространственных соотношений» (с. 250). Этот тезис находит далее в книге весьма интересную интерпретацию. И естественно, что рассуждения о географическом прогнозе переходят к заключительной главе в размышления о будущем самой географической науки. Суть дела, справедливо считает автор, заключена в самостоятельном движении географии «наперед, исходя из больших задач, которые ставит перед ней практика, жизнь народа и всего человечества, из богатства научных идей, созданных в ходе истории географической науки, из наличия той «армии» географов, которая работает в настоящее время в средней школе, в высшей школе, в научно-исследовательских и проектных институтах, министерствах, предприятиях и т. д.» (с. 262).

Одна из глав книги посвящена проблеме научного сотрудничества и борьбе идей в современной мировой географической науке. Как и другие главы, она содержит выношенные автором мысли и завоеван-

ные «в научных боях» позиции. Конечно, не каждый тезис Ю. Г. Саушкина разделяется всеми без исключения советскими географами, да автор на это и не рассчитывал, он всегда был готов вступить в полемику и, иной раз, уточнить собственные положения. Только таким и может быть естественное развитие науки.

В заключение хочется повторить слова выдающегося советского экономико-географа Николая Николаевича Баранского, приведенные в книге Ю. Г. Саушкина: «Посветите только одно. А именно — сделать географию общенародной наукой» (с. 268). Ученик и последователь Н. Н. Баранского Ю. Г. Саушкин до конца своих дней выполнял этот завет.

## Астрономия и ГАИШ

В. Г. Сурдин,  
кандидат физико-математических наук  
Москва



ЗВЕЗДЫ И ЗВЕЗДНЫЕ СИСТЕМЫ.  
Сб. ст. под ред. Д. Я. Мартынова.  
М.: Наука, 1981, 416 с.

Эта коллективная монография, подготовленная к 150-летию Астрономической обсерватории Московского университета и 50-летию Государствен-

ного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ), совсем не похоже на собрание юбилейных статей. В книге дан систематический обзор современного положения в исследовании звезд и их систем. При этом охвачены, по существу, все моменты жизни звезд — от зарождения до конечных стадий эволюции.

Все девять глав сборника (они объединяют тринадцать очерков) написаны сотрудниками ГАИШа — признанными авторитетами в своих областях, что само по себе свидетельствует о широком спектре проблем, решаемых в этом институте, и о высоком уровне их разработки.

Поскольку нет возможности даже кратко обсудить содержание всей книги, остановимся лишь на главах, содержащих наибольшее количество оригинальных результатов, полученных в ГАИШе. Это, прежде всего, главы об исследовании переменных звезд, тесных двойных систем и звездных скоплений.

Н. Н. Самусь подробно рассказывает о многолетней работе астрономов ГАИШа по составлению общего каталога переменных звезд. Этот уникальный каталог содержит данные о десятках тысяч переменных звезд, о пульсарах, квазарах и ядрах активных галактик. Можно сказать без преувеличения, что благодаря изучению именно переменных звезд стал возможен современный прогресс в астрономии. Пульсирующие переменные — цефеиды — позволили определить расстояния до ближайших галактик и, благодаря этому, вообще установить шкалу межгалактических расстояний. С другой стороны, практически все, что мы знаем сегодня о массах и радиусах звезд, получено при изучении затменных переменных — тесных двойных звезд, в которых одна компонента периодически закрывает от нас другую. Удивительные природные лаборатории сверхвысоких энергий — нейтронные звезды — были открыты и изучены лишь благодаря их радио-, оптической и рентгеновской периодичности. Возможность обнаружения экзотических черных дыр

астрономы также связывают с предсказанием чрезвычайно быстрой переменности оптического и рентгеновского излучения горячего газа, движущегося в окрестности черной дыры. Факт быстрой переменности самых мощных источников излучений во Вселенной — квазаров — позволил значительно сузить область теоретических построений и вплотную подойти к разгадке физических процессов, происходящих в этих удивительных объектах.

Система классификации переменных звезд в общем каталоге постоянно улучшается. Задача-максимум любой классификации — соответствовать реальному физическому разделению звезд по механизмам изменения блеска. В основном уже сейчас удалось решить эту задачу. Но, хотя у большинства типов звезд переменность блеска имеет простое физическое объяснение и прекрасно вписывается в современную картину звездной эволюции, существуют некоторые типы переменных, бросающие серьезный вызов нашим представлениям о физике звезд. Таковы некоторые типы эруптивных звезд, уникальные переменные типа FU Ориона, KR Возничего и др. Для того чтобы понять их место в общей картине жизни звезд, необходимы сравнительные исследования переменных различных типов. Фундаментом для такой работы служит «Общий каталог переменных звезд» (Кукаркин Б. В. и др. 3-е изд. М., 1967) — единственное в мире издание такого рода.

Об одном небольшом, но очень важном классе переменных звезд — о цефеидах — рассказывает в отдельной главе Ю. Н. Ефремов. Он пишет не только о новых достижениях, связанных с изучением этих пульсирующих звезд, но и о серьезных задачах, стоящих перед будущими их исследователями. Удивительно, но многолетнее изучение цефеид не привело до сих пор к истощению их полезных «прикладных» качеств. Если в начале века эти переменные звезды использовались как индикаторы расстояния, то теперь они служат и прекрасными индикаторами возраста молодых звездных

группировок, а также хорошими индикаторами межзвездного поглощения света. Запуск на околоземную орбиту крупных телескопов позволит изучать цефеиды даже в соседних скоплениях галактик, что важно не только для уточнения шкалы расстояний, но и для восстановления истории образования звезд в галактиках различных типов. Ю. Н. Ефремов призывает продолжить изучение цефеид в соседних галактиках, доступных сейчас наземным телескопам. Работы последних лет самого Ю. Н. Ефремова показывают, как с помощью даже не очень крупных телескопов можно по цефеидам восстановить картину образования звезд в соседних галактиках, например в туманности Андромеды.

Астрономы ГАИШа традиционно проявляют интерес к изучению звездных группировок — шаровых и рассеянных скоплений и ассоциаций. Хотя полное число звезд, входящих в скопления, невелико, не более 5% от общего числа звезд Галактики, именно звезды скопления являются самыми «говорящими», самыми информативными. В химическом составе этих звезд, в их взаимном распределении по светимости и температуре поверхности, в пространственной структуре самих скоплений зашифрована (и, что важно, вполне доступна разгадке) история формирования нашей Галактики, история нуклеосинтеза в ней и детали современного процесса образования звезд. Диапазон возрастов звездных скоплений чрезвычайно велик: от  $10^5$  до  $10^{10}$  лет. Неизвестно даже, что образовалось раньше: Галактика как целое или отдельные ее части (например, некоторые шаровые скопления и карликовые галактики-спутники). Возможность исследовать эти древние системы — большая удача для астрономов, и они интенсивно эту возможность используют.

Сейчас в Галактике известно около 140 шаровых звездных скоплений. Обзору их исследований в ГАИШе также посвящена специальная глава, автор которой Н. Н. Самусь рассказывает о многолетней работе московских астрономов по соз-

данию однородного каталога шаровых скоплений. Сложность этой работы в том, что, во-первых, шаровые скопления — самые далекие объекты нашей Галактики, доступные изучению. При этом наблюдениям мешает большое количество звезд, расположенных как перед, так и за скоплением; порою их очень трудно отличить от звезд самого скопления. Кроме того, многие скопления исследуются сквозь гигантскую толщу межзвездной пыли.

Каталог шаровых скоплений, созданный в 1974 г. Б. В. Кукаркиным (1909—1977), способствовал быстрому прогрессу в изучении их динамики и эволюции. Работа по улучшению этого каталога продолжается в ГАИШе учениками Б. В. Кукаркина параллельно с интенсивными наблюдениями шаровых скоплений на новых больших телескопах и с теоретическим изучением генезиса этих реликтовых звездных систем.

В последние годы в ГАИШе осуществляется программа наблюдения слабых звезд в шаровых скоплениях с помощью крупнейшего в мире 6-метрового телескопа Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. В результате реализации этой программы будут получены оценки возраста и химического состава шаровых скоплений, необходимые для правильного понимания начального этапа эволюции не только этих скоплений, но и Галактики в целом. Работы, проведенные в ГАИШе, показали, что существует много физических процессов, разрушающих шаровые скопления. Судя по всему, большая часть шаровых скоплений уже успела исчезнуть, сохранились лишь самые массивные и плотные, в структуре и химическом составе которых отражены события, происходившие невообразимо давно: более  $10^{10}$  лет назад.

Любопытно, что сейчас в нашей Галактике, как, по-видимому, и в других крупных спиральных галактиках, уже не формируются такие массивные звездные скопления. В то же время в небольших галактиках без развитой спиральной структуры, например в Магеллановых Облаках, массивные звездные

скопления возникают и в настоящее время. Ю. Н. Ефремов считает, что спиральная волна плотности как бы подстегивает процесс образования звезд в крупных галактиках и не оставляет времени на то, чтобы из межзвездного газа успели сформироваться достаточно массивные и плотные зародыши звездных скоплений. Поэтому рождающиеся сейчас в Галактике звездные скопления имеют небольшую массу, а часто и небольшую плотность, что, разумеется, приводит к быстрому их разрушению. Собственно говоря, разрушение скоплений начинается сразу же после их образования внутри массивного газового облака. Еще не успели окончательно сформироваться звезды малых масс, а массивные звезды уже кончают свою эволюцию и начинают взрываться как сверхновые. В результате этих взрывов остатки межзвездного газа выбрасываются из скопления, масса которого при этом уменьшается, и оно начинает расширяться. Многие звезды при этом быстро и навсегда покидают скопление. Группы таких разлетающихся звезд астрономы наблюдают среди звездных ассоциаций. Впрочем, бытовавшее в прошлые годы мнение, что все ассоциации горячих звезд непременно разлетаются, оказалось ошибочным. Выяснилось, что помимо небольшого количества горячих звезд, неспособных своим притяжением сдерживать расширение системы, в таких группировках находится много менее заметных звезд с малой массой, а также огромное количество холодного газа. Все это стабилизирует ассоциацию и, по-видимому, чаще всего препятствует их быстрому разлету. Большое значение для понимания этого процесса имели работы П. Н. Холопова, на которые неоднократно ссылаются авторы настоящего сборника.

В последние годы интерес к звездным скоплениям усилился еще и потому, что в некоторых шаровых скоплениях были открыты вспыхивающие рентгеновские источники — барстеры. Совместными усилиями исследователей скоплений и специалистов по рентгеновской астрономии было установлено, что

источником жесткого излучения в большинстве случаев являются тесные двойные звездные системы, расположенные в центральных областях звездных скоплений. Судя по всему, рентгеновские вспышки происходят на поверхности нейтронной звезды, которая вращается в паре с нормальной звездой малой массы. Изучением тесных двойных звездных систем в ГАИШе занимается много известных наблюдателей и теоретиков. Три очерка, посвященные тесным двойным системам, написаны представителями трех поколений астрономов ГАИШа, посвятивших себя изучению этих интереснейших объектов Галактики. О «классических» тесных двойных рассказывает Д. Я. Мартынов. Можно просто поражаться тому, насколько «разговорчивее» становятся звезды, когда они взаимодействуют друг с другом! Сейчас у астрономов нет экспериментальных методов для изучения внутренней структуры близкого к нам Солнца, но зато мы неплохо знаем распределение плотности внутри некоторых звезд, удаленных от нас на сотни световых лет. А причина в том, что эти звезды входят в состав тесных двойных систем и взаимным притяжением искажают форму друг друга. В том, насколько сильно звезда реагирует на притяжение соседа, как раз и проявляется ее внутренняя структура.

В очерке о системах звезд с протяженными атмосферами и дискообразными оболочками А. М. Черепашук рассказал о большой работе астрономов ГАИШа по изучению звезд с быстрой потерей массы или взаимным ее обменом. Это, как правило, звезды на поздних стадиях эволюции, сбрасывающие с себя верхние слои атмосферы в результате внутренних процессов, а также при взаимодействии с соседней звездой. При этом часто проявляют себя такие объекты, которые в иных условиях были бы практически недоступны для наблюдения: речь идет о нейтронных звездах и черных дырах. Для теоретической интерпретации этих наблюдений большую роль сыграли работы Н. И. Шакуры.

Подробный анализ современных представлений об эволюции релятивистских звезд в тесных двойных системах дан в очерке В. М. Липунова. Хорошие иллюстрации и ясное изложение делают очерк доступным для широкого круга читателей, желающих понять основные физические процессы, наблюдаемые вблизи белых карликов,

нейтронных звезд и черных дыр в двойных звездных системах. Изучение взаимодействия этих загадочных объектов с нормальными звездами подтверждает многие предсказания теоретической физики, но обнаруживает также и новые факты, не получившие пока объяснения.

В целом книга оказалась вполне доступной большинству

увлеченных астрономией читателей и в то же время очень интересной даже для профессионалов. Наконец, хочется отметить, что авторы рассказывают о своих излюбленных темах в достаточной степени темпераментно, и, возможно поэтому, книга буквально пропитана духом ГАИШа.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Астрономия

**Б. И. Силкин. В МИРЕ МНОЖЕСТВА ЛУН (СПУТНИКИ ПЛАНЕТ).** Под ред. Е. Л. Рускол. М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. литературы, 1982, 208 с., ц. 40 к.

В книге рассказывается обо всех (за исключением Луны) известных естественных спутниках планет Солнечной системы — от первых галилеевых (Ю, Европа, Ганимед и Каллисто), открытых Галилеем в 1610 г., до спутника Нептуна N III, обнаруженного в 1981 г. У. Хаббардом. Автор популярно и увлеченно излагает родословную каждого из 45 спутников: историю его открытия, в честь кого и почему именно так назван, подробно знакомит с менявшимися по мере усовершенствования методов наблюдения гипотезами о его происхождении и с предсказываемым для него будущим.

Точные данные о размере, массе, плотности, параметрах орбиты и другие характеристики спутников приведены в таблицах; публикуются полученные с космических аппаратов снимки спутников Марса, Юпитера и Сатурна.

### Физика

**Ж. Агостон. ТЕОРИЯ ЦВЕТА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В ИСКУССТВЕ И ДИЗАЙНЕ.** Пер. с англ. И. В. Пенювой. М.: Мир, 1982, 184 с., ц. 75 к.

Сочетание опыта инженера-химика с постоянным интересом к искусству позволило автору книги квалифицирован-

но продемонстрировать применение положений науки о цвете в искусстве и дизайне. В начале книги речь идет о том, что такое цвет и каковы его характеристики. Затем следует глава, в которой свет рассматривается в качестве стимула, вызывающего восприятие цвета. Обсуждаются вопросы, касающиеся цвета материалов: непрозрачных и прозрачных, нефлуоресцирующих и флуоресцирующих. Отдельные главы посвящены уравниванию цветов и первичным цветам — понятиям, которые лежат в основе международного метода определения цвета. В последних главах показано, как эти понятия можно расширить, чтобы использовать их при систематизации наименований цвета и определении дополнительных цветов, при описании смешения цветных световых потоков и пределов цветовых охватов колорантов.

Хотя книга адресована в первую очередь художникам и дизайнерам, круг ее читателей может быть гораздо шире. По мнению известного специалиста по колориметрии Д. Мак-Адама, написавшего предисловие, «книга доктора Агостона послужит созданию того моста между наукой и искусством, о котором мечтают современные ученые-цветоведы».

### Биология

**Р. Д. Жантнев. БИОАКУСТИКА НАСЕКОМЫХ.** М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981, 256 с., ц. 3 р.

В монографии приводятся результаты 15-летних исследо-

ваний акустических систем связи насекомых, проводившихся на кафедре энтомологии биологического факультета МГУ. В своих выводах автор опирается и на достижения других ученых, советских и зарубежных. В книге описано строение и функции звуковых органов, приведены физические характеристики звуковых сигналов насекомых и охарактеризованы их приспособительные свойства. Рассказано о механизмах обработки звуковой информации в центральной нервной системе насекомых. Значительное место уделено проблеме распознавания звуковых сигналов и локализации источника звука. Книга иллюстрирована осциллограммами акустических сигналов насекомых и реакции на них.

Автор адресует свою книгу научным работникам, аспирантам и студентам, специализирующимся в области энтомологии, физиологии, биофизики и бионики.

### Биология

**Н. А. Тренция, Н. А. Картель. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ.** Минск: Наука и техника, 1980, 77 с., ц. 15 к.

Все мы являемся свидетелями того, как биология, описывающая живые организмы и их сообщества и объясняющая основные закономерности их функционирования, приступила к разработке новой технологии — технологии «конструирования генетических программ живых организмов путем манипулирования с отдельными генами и их группами. Подобно

тому как в технике по заранее разработанным чертежам из деталей собирают машины, генные инженеры конструируют наследственную основу живых организмов из отдельных частей, свойства которых им известны». Так определяют предмет и методы генетической инженерии авторы этой небольшой популярной книжки, снабженной хорошими иллюстрациями. Общебиологический и генетический фундамент генетической инженерии; основы химического строения «вещества наследственности» — ДНК; схемы осуществления фундаментальных генетических событий в живой клетке — репликаций ДНК, мутаций и рекомбинаций; логическая основа «конструирования» новых генетических программ; основные методы реализации «генетических проектов»; перспективы, открывающиеся перед «генетической технологией» в связи с использованием ее достижений в микробиологической промышленности, лесоводстве, сельском хозяйстве и медицине, — все это в ясной, доступной форме, и в то же время без упрощенчества и вульгаризации, изложено в книге Н. А. Троицкого и Н. А. Картеля.

Авторы назвали свою книжку «Генетическая инженерия», а не «Генная инженерия», подчеркивая тем самым, что конструирование новых генотипов — задача более широкая, чем только манипулирование отдельными генами; генная инженерия входит в область инженерии генетической как отдельный (хотя и чрезвычайно важный) раздел. И еще одно отличие книги Н. А. Троицкого и Н. А. Картеля от многих популярных изданий по современной молекулярной генетике: авторы уделяют достаточно внимания возникновению новых генетических программ в самой природе, подчеркивая тем самым, что успехи, достигаемые в этой области человеком, целиком и полностью зависят от правильности ответа на вопрос: а как это происходит в самих живых организмах и их сообществах?

**В. И. Корогодина**,  
доктор биологических наук

Дубна

## Биология

**В. П. Заградский, Э. К. Сулеймануялла. ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ СОВРЕМЕННОГО ЧЕЛОВЕКА.** Л.: Наука, сер. «От молекулы до организма», 1982, 96 с., ц. 35 к.

Автоматизация лишает человека чувства «мышечной радости», — говорил И. П. Павлов. Это было во времена, когда мало кто опасался, что автоматизация и механизация трудовых процессов покажет свою оборотную сторону. Теперь ее видят все. За короткий срок научно-техническая революция сняла с человека значительную долю привычных для него нагрузок. Организм стал страдать и физически, и психологически. Бичом современного человечества стала гипокинезия (недостаток двигательной активности).

В брошюре, вышедшей в научно-популярной серии, говорится об ограничении двигательной активности человека вследствие автоматизации производства, увеличения удельного веса статических и локальных нагрузок, монотонности трудовых процессов, повышенной эмоциональной напряженности, критериях оценки тяжести физического труда в современных условиях, энергетических затратах при различных видах физической работы и т. д. Обсуждаются задачи рационального подхода к организации труда.

## История науки

**А. Р. Лурия. ЭТАПЫ ПРОЙДЕННОГО ПУТИ.** Научная автобиография. Под ред. Е. Д. Холмогоровой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 184 с., ц. 55 к.

Книга известного психолога А. Р. Лурии (1902—1979) необычна для нашего читателя. Это научная автобиография — жанр, редко встречающийся в литературе. Чисто биографическая часть занимает в книге скромное место, буквально несколько страниц. Главное — научные изыскания, которыми автор занимался всю жизнь. По сути А. Р. Лурия написал краткую историю развития пси-

хологии в СССР, ее главных направлений, рассказал о родоначальниках отечественной психологии, среди которых он особо выделяет Л. С. Выготского. Говоря о том фундаменте, на котором сложилось мировоззрение Л. С. Выгодского и его учеников, А. Р. Лурия вспоминает одного из основателей журнала «Природа» В. А. Вагнера: «Особое впечатление произвели на Л. С. Выготского труды В. А. Вагнера, выдающегося русского специалиста по сравнительному изучению поведения животных. Вагнер был ученым, применявшим широкий биологический подход к поведению животных. Его мысли об эволюции произвели огромное впечатление на Л. С. Выготского, и эти два ученых переписывались в течение долгого времени».

Автор ведет повествование в непринужденной и доступной для неспециалиста форме, последовательно рассказывая о волновавших его теоретических проблемах, о конкретной практической работе (например, в годы Великой Отечественной войны в качестве руководителя одного из госпиталей), об интересных опытах и наблюдениях. Как истинный ученый, он пытается взглянуть на свою деятельность со стороны.

Книга интересна и по форме, и по содержанию. Она наверняка найдет отклик не только у психологов, но и у широкого круга советских читателей. За рубежом она стала известна даже несколько ранее под названием «The making of mind» (L., 1979).

## История науки

**М. Реброва. ГРАНИ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ ИЛИ ПУТИ К ЧИТАТЕЛЮ.** М.: Мысль, 1981, 157 с., ц. 50 к.

Эта книга журналиста М. Ф. Реброва получила премию Московской организации Союза журналистов СССР за лучшую работу 1981 года. В первых трех главах автор рассматривает общие закономерности в развитии науки и основные задачи ее популяризации. В главе «Чувствовать пульс прогресса» перечислены основные требования к популяризаторам науки: идейность,

актуальность, информативность, глубина суждений, понимание связи между фундаментальными проблемами и их приложением для практики. Пятая глава, занимающая треть книги, представляет особый интерес, так как касается популяризации космических исследований — основной области журналистской деятельности автора — члена редколлегии газеты «Красная звезда», редактора отдела науки, техники и космонавтики. Здесь автор отвечает на вопрос, зачем нужно дорогостоящее изучение космоса; показывает роль математики в космических исследованиях; ярко рассказывает о том, как, работая над серией очерков о подготовке космонавтов, сам занимался вместе с ними по теоретической программе, а также прошел все испытания физических и моральных сил на различных установках и тренажерах.

Затем внимание читателя вновь возвращается к общим журналистским проблемам: мастерству популяризации, компетентности и профессиональной этике научного журналиста. Приведены примеры безликих и вульгарных статей, порой искажающих научную истину. Специальная глава посвящена размышлениям ученых о значении популярной литературы для науки и общественного развития. Заканчивается книга главой о «тайнах» жанра, содержащей «девять заповедей» для молодых популяризаторов.

Книгу с интересом читают и молодые и опытные популяризаторы науки и техники.

**З. Л. Поимзовский**  
Москва

#### Философия естествознания

**ЧЕЛОВЕК И ПРИРОДА.** Сб. Ред. коллегия: А. А. Горелов, Г. В. Карсаевская, А. В. Кацура, А. С. Мамзин, А. Т. Шаталов, М.: Наука, 1980, 256 с., ц. 1 р. 20 к.

Большим коллективом авторов — представителями естественных наук и философов — предпринята попытка осуществить разносторонний философско-методологический анализ проблемы: природа че-

ловека и его взаимосвязь с окружающей природной средой.

Статья сгруппирована в два раздела. Первый — «Диалектика биологического и социального» — рассматривает такие вопросы, как взаимоотношение природного и общественного в человеческой предистории, роль эволюционных и социально-исторических факторов в происхождении человека. В частности, авторы отстаивают положение, что с возникновением человеческого общества естественный отбор не исчезает совсем, а сохраняется в модифицированном и подчиненном виде, приобретает «стабилизирующий характер». «Это эволюционное постоянство... — говорится в одной из статей, — может лишь означать, что тип человека в его современном виде будет способен сохраняться неопределенно длительный период времени, соизмеримый с геологическими эпохами». Высказывается точка зрения, что социальное развитие способствует стиранию различий расового и межнационального характера, с одной стороны, а с другой — постепенному освобождению людей от популяционной ограниченности, усиливая индивидуальное разнообразие. В другой статье интересно обоснован вывод, что человечество приближается к критическому порогу, за которым начинается фаза управляемой эволюции. В этом же разделе рассматриваются такие разнообразные и довольно далекие друг от друга вопросы, как влияние характера производственных отношений на здоровье населения, необходимость союза экологии и генетики и многие другие.

Второй раздел — «Человек и окружающая среда» — начинается статьей, в которой предпринята попытка философского обоснования экологической стратегии эпохи научно-технической революции. Далее рассматриваются методологические аспекты проблемы естественного и искусственного, обсуждается возможность прогнозирования взаимодействия общества с природной средой, исследуются проблемы рационального управления природными системами, анализируются социаль-

но-политические и идеологические проблемы современного этапа взаимодействия природы и общества.

При общем взгляде на книгу хотелось бы высказать некоторые замечания. В статьях сборника говорится прежде всего о воздействии социального на природное, общества на природу. Воздействие же природного на социальное, и в особенности воздействие природы на общество, в должной мере не анализируется. Можно также отметить конспективность и, возможно, вследствие этого недостаточную доказательность отдельных статей. Наконец, нельзя не отметить, что сборник пестр по своему тематическому составу и содержит много дискуссионных высказываний разной степени убедительности. Однако в целом, по нашему убеждению, он чрезвычайно интересен и полезен.

**В. А. Кебылянский,**  
кандидат философских наук  
Чита

#### Логика науки

**Ю. А. Петров, А. Л. Никифоров.** ЛОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982, 249 с., ц. 1 р. 10 к.

Логика и методология научного познания изучают структуру познавательного процесса и его элементов (научный язык, теории, гипотезы, научное объяснение и т. д.), методы построения, организации и обоснования знания. Авторы дают четкое истолкование терминов «логика» и «методология науки». Под «логикой» понимается современная формальная логика, а под «методологией науки» — изучение методов познания. В книге разрабатываются проблемы языка как семиотической системы, формы и содержания языковых элементов, намечается типология научных языков, рассматриваются эвристические методы в научном исследовании. Дан критический анализ современных немарксистских методологических концепций, в частности концепций К. Поппера и Т. Куна.

# Явление $\psi$ -резонанса при дешифрировании космических снимков

## Шуточное резюме одного совещания

С. Ф. Скобелев

П. В. Флоренский

кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Кольцевые структуры были известны давно: это тела округлых интрузий, ледниковые цирки, кальдеры вулканов и метеоритные кратеры. Но при дешифрировании космических снимков оказалось, что на них можно увидеть множество округлых пятен, полей и т. д., которые далеко не всегда связаны с уже известными в этом районе образованиями. Их необъясненность вызвала к ним особый интерес, с точки зрения некоторых специалистов — чрезмерный. Именно эту точку зрения отражает публикуемый ниже «заключительный доклад», который был прочитан на одном из проходивших недавно совещаний, посвященных изучению Земли из космоса.

Глубокоуважаемые коллеги! Кончилось то спокойное время, когда мы имели некоторые представления о структуре земной коры и как-то могли обсуждать эту проблему. Теперь мы все окружены, можно сказать, опутаны кольцами. Позвольте нам от имени любителей парапсихологии и дистанционных методов в геологии сделать краткое сообщение об открытых коллегам новых явлениях. Мы не только не претендуем на авторство нижеизложенных оригинальных идей, но ставим себе в заслугу тяжкий и опасный труд по их сбору и систематизации, что в конечном итоге дало возможность говорить об открытии принципиально нового явления.

В последний год отмечен нездоровый интерес почти всех геологов к кольцевым структурам. Кольцевые структуры — круглые и всегда где-нибудь к чему-нибудь приурочены. Через три, две или одну точку всегда можно провести кольцевую структуру. В частности, обязательно есть разломы, которые проходят или через кольцо или где-нибудь недалеко. Если раз-

ломы не пересекаются в центре кольцевой структуры, то это значит, что ее положение дешифрировано неточно. В некоторых наиболее смелых схемах дешифрирования увеличенные авторы покрывают многократно пересекющимися кольцами всю поверхность Земли, реже планет земной группы, так что планета оказывается как бы одетой золотым руном или кольчугой. Поэтому всегда можно найти ту или иную кольцевую структуру диаметром от 3 до 3000 км, которая включает также и какое-нибудь месторождение, погребенную интрузию или риф. Сложность заключается не в том, чтоб доказать приуроченность того или иного месторождения к кольцевой структуре, эта проблема давно не стоит, а в том, чтобы выяснить, к какой именно из переплетающихся кольцевых структур отнести то или другое месторождение и, соответственно с этим, признать тот или другой нефте-газогенерирующий очаг превалирующим. Полученные при дешифрировании материалы, равно как и некото-

рые, позволяют полностью отрицать на данном этапе органическое происхождение нефти, поскольку она, как оказалось, находится в тех же самых кольцах, что и магматические и метасоматические образования: граниты, каменная соль, сера, доломиты, ультрабазиты, каменный уголь и яйца динозавров. Становится все более очевидной и доказанная докладчиками связь с кольцевыми структурами не только дислокаций астеносферного слоя и ядра Земли, но и целого комплекса полезных ископаемых. Например, в одной парагенетической ассоциации находятся торфяные болота, мурманит и алмазы; особенно важен парагенез золота, платины и серы. Другие месторождения, отстоящие от колец на 100 км и более, также имеют парагенетические комплексы минералов, что объясняется неровностями земной коры и колебаниями уровня и вязкости астеносферного слоя. Практически все нефтяные месторождения Волго-Уральской области находятся в кольце диаметром около 1500 км. В нем же — рудные месторождения Урала, Аралсорское под-

нятие, Донбасс, серые гнейсы Прибалтики и Останкинская телебашня. Высокая продуктивность этого кольца связывается с подъемом астеносферно-мантийного диапира.

Постоянная встряска землетрясениями увеличивает продуктивность уже эксплуатируемых месторождений жидких и твердых полезных ископаемых, поскольку если что-нибудь трясется, то всегда что-то вырывается, а в данном случае речь идет о высокопродуктивных коллекторах, из которых наверняка что-либо если не польется, то посыплется.

Очень важен генезис кольцевых структур. Группа ученых из Калифорнии, используя компьютер и какую-то матрицу, пришла к выводу, что факт попадания метеоритов в центры кратеров — кольцевых образований, сопровождающихся дислокациями слоев и появлением высокобарических минералов — не соответствует общей теории вероятности и гранулометрической теории образования земной коры. Более вероятно попадание «небесных камней» на ровное недислоцированное место. Анализируя геометрические соотношения кольцевых структур, местонахождений гектитов и линейментов, эти ученые показали, что это соотношение подчиняется зависимости:  $F(\Psi) = X \cdot 3\pi R$ , где  $X$  — безразмерный коэффициент, который легко выводится в каждом конкретном случае путем проб и ошибок.  $R$  — радиус структуры.

Особенно ценна выявленная нашими соотечественниками и их зарубежными коллегами множественная корреляционная связь диаметров колец с разломами, порядковыми номерами в таблицах, нумерацией страниц рукописей, размером гонораров или банковских счетов (если они есть) и номерами счастливых трамвайных билетов (если нет счетов в банке). При этом соотношение глубины проникновения и диаметра структуры подчиняется той же зависимости, что и соотношение размера оспины с ее глубиной. Остается только констатировать факт заболевания Земли оспой, насморком и, вероятно, более серьезными недугами.

Решающим аргументом в пользу установления генезиса кольцевых образований явилось сходство их морфологии с системой трещин над канализационными люками, высыханием хлебных корок и пивной пеной.

Успешно продвинувшиеся исследования последних лет проливают свет на энергетику колец, дешифрируемых на снимках из космоса. В принципе этот вопрос можно считать также решенным, за исключением некоторых малозначительных деталей. Дело в том, в магнитные аномалии Земли из космоса протекает электромагнитная плазма и тем самым увеличивает магнитно-термический потенциал коррелируемых с ними кольцевых структур. В них возникают блуждающие токи, разогревающие спирали колец. При этом жидкая компонента

литосферы закипает, а летучая — интенсивно выделяется; формируется повышенный тепловой поток и как бы пена из колец меньшего диаметра по периметру большого кольца. А именно с малыми кольцами и связаны наиболее богатые по содержанию запасы полезных ископаемых, как жидких, так и твердых.

Несколько неожиданным оказалось обнаружение эффекта магнитного  $\Psi$ -резонанса окружностей на космических снимках Земли и радиопередач: установленные явления дополнительного резонанса способствуют, в зависимости от содержания и качества радиопередачи, увеличению теплового баланса кольцевой структуры и вызывают возникновение вокруг остывшей спирали гидротермальных ореолов. К сожалению, приходится отметить существование альтернативной точки зрения на указанные геологические процессы, которая поддерживается некоторыми ортодоксами и мешает всеобщему признанию предложенной нами гипотезы.

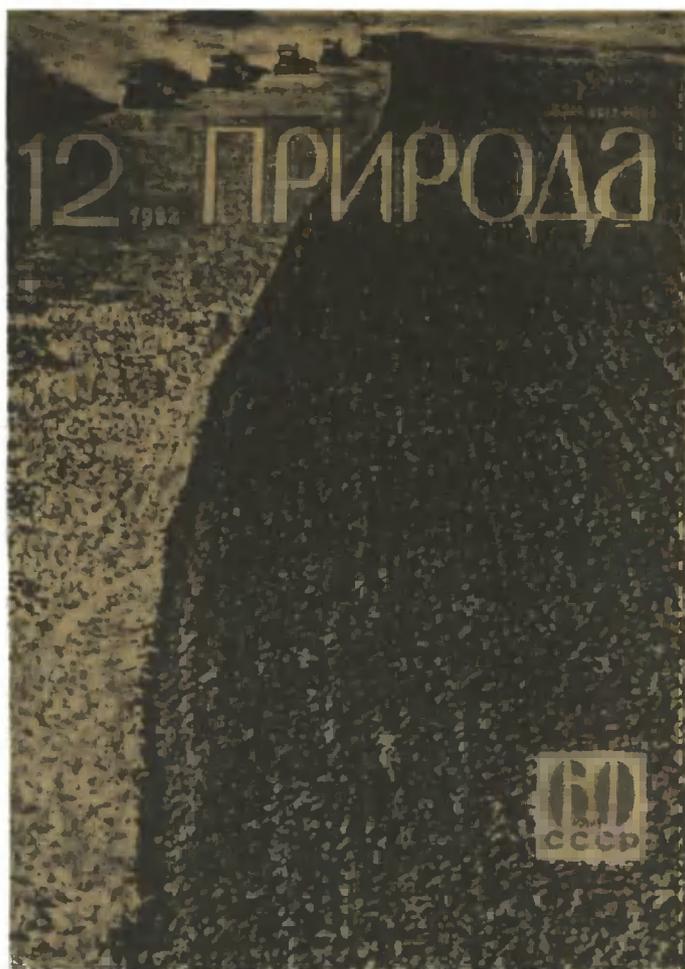
Статистический анализ кольцевых структур и линейментов позволил среди тех и других выделить 32 кластера таксисконов и таксислинов. Это помогло установить существование в природе континентов и океанов, гранитов, песчаников, асфальта, нефтяных и рудных месторождений, пустынь и болот, дня и ночи и, ко всеобщему удивлению различных научных направлений.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА  
Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 7.09.82.  
Подписано к печати 28.10.82.  
Т—16172.  
Формат 70х100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл.-кр.-отт. 1636 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,1  
Бум. л. 4  
Тираж 61 100 экз. Зак. 1777.

Ордена Трудового Красного Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат ВО «Союзполиграфпром»  
Государственного комитета СССР  
по делам издательства, полиграфии  
и книжной торговли. г. Чехов  
Московской области.



Следующий номер журнала посвящен 60-летию создания первого в мире единого союзного многонационального государства рабочих и крестьян — Союза Советских Социалистических Республик. В нем выступают ученые из всех союзных республик нашей страны. Они рассказывают о тех проблемах, над решением которых работают сегодня.

Цена 80 коп.  
Индекс 70707

